ДОКЛАДЫ

АКАДЕМИИ НАУК СССР

ВЫХОДЯТ ТРИ РАЗА В МЕСЯЦ

Редакционная коллегия: акад. Л. А. Арцимович, акад. А. Г. Бетехтин, акад. С. А. Векшинский, акад. А. Н. Колмогоров (зам. главного гедактога), акад. А. Л. Курсанов, акад. С. А. Лебедев, акад. А. И. Опарин (главный редактор), акад. Е. Н. Павловский, акад. Л. И. Седов. акад. Н. М. Страхов, акад. А. Н. Фрумкин (зам. главного редактора)

25-й ГОД ИЗДАНИЯ

1957

TOM 115, № 4

СОДЕРЖАНИЕ

MA

АТЕМАТИКА	Cmp.
Я. С. Бугров. Задача Дирихле для круга	639
В. Н. Гольдберг. О возмущении линейных операторов с чисто дискретным спектром	643
К. В. Задирака. Об интегральном многообразии системы дифференциальных уравнений, содержащей малый параметр	646
В. А. Ильин. О равномерной сходимости разложений по собственным функциям нечетномерных областей	650
Г. В. Корицкий. О кривизне линий уровня при однолистных конформных отображениях	653
В. Г. Лемлейн. О пространствах симметричной почти симплектической связ-	655
ности	
ства на евклидово в евклидово пространство	659
тельная плоскость постоянна	663
задачи	666
на границе области	670
В. А. Топоногов. Свойство выпуклости римановых пространств положительной кривизны	674
ДРОМЕХАНИКА	
В. В. Казакевич. О помпаже в компрессорах	677
Г. Г. Черный. Обтекание тонкого затупленного конуса при большой сверхзвуковой скорости	681
ЗИКА	
Л. Т. Барадзей, В. И. Рубцов, Ю. А. Смородин, М. В. Соловьев, Б. В. Толкачев и З. И. Тулинова. Взаимодействие протонов космических лучей с энер-	685
гией около 10 ¹⁰ эв с ядрами свинца	000

	 Е. Ф. Гросс и А. А. Шултин. Взаимодействие внутримолекулярных и решеточных колебаний кристаллов по данным инфракрасных спектров М. С. Косман и В. Ф. Писаренко. Приэлектродные явления в щелочно-галоидных кристаллах при высоких температурах Г. Ф. Филиппов. Первые возбужденные уровни аксиально-симметричных четно-четных ядер Е. Н. Яковлев. Расчет намагниченности одноосного феррита при низких температурах 	689 693 696 699
БИ	нофизика	
	 Я. Граевский и Л. И. Корчак. Влияние рентгеновского излучения на распределение в тканях мышей внутривенно введенных красителей В. Г. Куликова и Е. А. Тимофеева-Ресовская. Распределение смеси осколков урана, церия-144 и цезия-137 в организме травяной лягушки 	702 706
TE	ЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА	47
	 А. И. Виткин. Применение радиоактивных изотопов при исследовании механизма основных процессов горячего лужения. А. В. Кольченко и А. А. Силин. О режиме и законе трения резины при смазке в области больших скоростей и нагрузок. В. В. Лаврентьев. Экспериментальное исследование закона трения резины в широком интервале нормальных давлений. А. Н. Розанов. Влияние углерода и температуры закалки стали на твердость мартенсита 	710 714 717 721
KI	РИСТАЛЛОГРАФИЯ	
	В. Л. Инденбом и Г. Е. Томиловский. Внутренние напряжения вокруг единичных дислокаций	723
XI	<i>Р</i> ИМИЯ	1
	 А. А. Баландин и П. Тетени. Кинетика каталитической дегидрогенизации изопропилового спирта в присутствии переходных металлов IV периода Б. А. Долгоплоск, Л. М. Романов, Б. Л. Ерусалимский и В. Я. Богомольный. Катализаторы на основе магнийгалогеналкилов и четыреххлористого титана для синтеза аморфных и кристаллических полимеров из α-олефинов и диенов А. Н. Несмеянов, Р. Х. Фрейдлина и Е. Ц. Чуковская. Термическая теломеризация олефинов с силанами, содержащими Si — Н-связь К. Б. Пиотровский и М. П. Ронина. Об ассоциации литийорганических соединений жирного ряда в растворах углеводородов А. В. Топчиев, И. А. Мусаев и Г. Д. Гальперн. О химическом составе бензинов 	727 731 734 737
фi	термического и каталитического крекинга	740
7.4	Ф. И. Вилесов и А. Н. Теренин. Фотоионизация паров некоторых органических	
	соединений	744
	зионных процессов в явлениях адгезии двух полимеров	747
ri	сти ртути	751
1 1	М. А. Лобржанская. Сезонные особенности вертикального распределения кисло-	
	рода в зоне фотосинтеза Черного моря	755
Б	Римихон	
	П. В. Афанасьев и А.И. Шульмина. О механизме действия каталазы. И. И. Иванов и Г. П. Пинаев. О механизме сокращения и самопроизвольного расслабления глицериновых моделей мышечных волокон. Л. С. Куцева и В. Н. Букин. Морские водоросли и сапропели как источники	75°
	витамина B_{12}	76
X	ИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ	
63	А. К. Бондарева. Измерение теплопроводности взвешенного слоя	76

Cmp.

ГЕОЛОГИЯ	Cmp.
И. В. Кириллова. О периодичности разрушительных землетрясений Кавказ и Турции	
Е. А. Рейтлингер. Сферы девонских отложений Русской платформы	. 774 . 777 e
о девоне Днепровско-Донецкой впадины	. 100
 Л. С. Бородин и И. И. Назаренко. Об отступлении минералов группы пирохлор от типовой формулы A₂B₂X₇ и о роли конституционной воды в кристал лической решетке пирохлора	. 783
ПАЛЕОНТОЛОГИЯ	
В. Е. Руженцев. Процветание и кризисы в истории аммоноидей	a
гистология	
 Л. Б. Берлин. Гистологические процессы при заживлении защитных опера ционных ран у собак и кошек	. 799
острой лучевой болезни	. 803
ГЕНЕТИКА	RHIN
С. И. Алиханян и Ф. С. Клепикова. Изучение влияния X-лучей на изменчивост Actinomyces subtropicus (продуцент альбомицина)	Ь
ЭКОЛОГИЯ	
А. А. Передельский, Н. А. Порядкова, Л. З. Родионова и С. В. Тарчевская. Ролг дождевых червей в очистке почвы от загрязнений радиоактивными изото пами	-
микробиология	
 С. Г. Рыбакова. Микрофлора глубинных нефтей третичного возраста Апше ронского полуострова Но. И. Сорокин. К вопросу о способности сульфатвосстанавливающих бакте рий использовать метан для восстановления сульфатов до сероводород; 	. 813
БОТАНИКА	
Н. Н. Полунина. Сравнительное изучение эмбриологии и биологии цветения не которых видов эвкалипта	
РИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ	
Б. Е. Кравцова. Исследование роли листьев отдельных ярусов в формировании органов плодоношения у яровой пшеницы	822
МОРФОЛОГИЯ	
В. Н. Майоров. О прижизненном наблюдении межнейрональных связей и ре цепторов в мочевом пузыре травяной лягушки (Rana temporaria)	. 826
МЗИОЛОГИЯ 	
 Б. Х. Гуревич. Об установке глаз на основе мышечного чувства и о возможной роли проприоцепции в зрительной фиксации	. 829 4 833
аппарата у собак	. 837
ЭМБРИОЛОГИЯ,	
А. С. Гинзбург. Время установления контакта спермия с яйцом при оплодотво рении у осетровых рыб	845

CONTENTS

MATHEMATICS	Page
 J. S. Bugrov. Dirichlet problem for the circle	63 64 64 65 65 65
A. M. Rodniansky. The mapping of topological space multiplied by Euclidian space into Euclidian space. S. I. Saveliev. Surfaces with plane generatrices along which the tangent plane is constant. L. A. Sakhnovich. The spectral analysis of Volterra operators and some inverse problems.	65 66 66
S. A. Tersenov. An elliptical type of equation degenerating at the domain boundary V. A. Toponogov. On convexity of Riemannian spaces of positive curvature V. A. Toponogov.	67 67
FLUID MECHANICS	
V. V. Kazakevich. On surging in compressors	67 68
PHY SICS	
L. T. Baradzey, V. I. Rubtsov, Yu. A. Smorodin, M.V. Soloviev, B. V. Tolkachev and Z. I. Tulinova. The interaction of cosmic rays protons at about 10 Bev energies with Pb nuclei	68
E. F. Gross and A. A. Shultin. Interaction between intromolecular and lattice vibrations in crystals with reference to infrared spectra	68
 M. S. Kosman and V. F. Pisarenko. Phenomena within the electrode region in alkali halide crystals at high temperatures. G. F. Filippov. The first excited levels of axially symmetrical even-even nuclei 	66
E. N. Jakovlev. Calculation of the magnetization of uniaxial ferrite at low temperatures	69
BIOPHYSICS	
E. J. Graevsky and L. I. Korchak. The distribution of dyestuffs intraveinously introduced in mice tissues, as affected by X-radiation	7(
temporaria	7
TECHNICAL PHYSICS	
 A. I. Vitkin. The use of radioactive isotopes in studying the mechanism of the basic processes in hot tinplating A. V. Kolchenko and A. A. Silin. Friction of rubber in lubricated bearings with high speeds and big loads 	7
 V. Lavrentiev. An experimental study of the friction of rubber within a wide range of normal pressures. A. N. Rozanov. The influence of carbon and of the hardening temperature or the hardness of martensite 	7
CRYSTALLOGRAPHY	
W. L. Indenbom and G. E. Tomilovsky. Internal stresses around unit dislocation	s 7
CHEMISTRY	
A. A. Balandin and P. Tetenyi. The kinetics of catalytic dehydrogenation of isopropyl alcohol in the presence of fourth-period transition metals	f . 7

B. A. Dolgoplosk, L. M. Romanov, B. L. Erusalimsky and V. J. Bogomolny. Use of catalysts based on magnesium halogen alkyls and titanium tetrachloride in the production of amorphous and crystalline polymeres from α-olefines	Pages
and dienes	731
telomerization of olefines with silanes containing a Si — H bond K. B. Piotrovsky and M. P. Ronina. Association of organo-lithium compounds	734
of the aliphatic series in hydrocarbon solutions	737
position of gasolines obtained by thermal and catalytic cracking	740
HYSICAL CHEMISTRY	
F. I. Vilesov and A. N. Terenin. The photoionization of vapours of certain	
L. P. Morozova and N. A. Krotova. The correlation of electric and diffusion processes in the phenomenon of adhesion of two polymers	744
A. N. Frumkin, B. B. Damaskin and N. V. Nikolaeva-Fedorovich. Super-requivalent adsorption of cations on negatively charged mercury surface.	751
EOCHEMISTRY	
M. A. Dobrzhanskaya. Seasonal peculiarities in the vertical distribution of oxygen within the zone of photosynthesis in the Black sea	755
OCHEMISTRY	
 P. V. Afanasiev and A. I. Shulmina. On the mechanism of the action of catalase I. I. Ivanov and G. P. Pinaev. On the mechanism of contraction and spontaneous relaxation of glycerine models of myofibrillae L. S. Kutseva and V. N. Bukin. Sea algae and sapropels as sources of B₁₂ vitamin 	759 763 765
HEMICAL TECHNOLOGY	
A. K. Bondareva Measurement of the thermal conductivity of a fluidized bed	768
PEOLOGY	
 I. V. Kyrillov. On the periodicity of destructive earthquakes at the Caucasus and in Turkey. E. A. Reitlinger. Spheres from Devonian deposits of the Russian platform. P. M. Khrenov. On the relation existing betwen skarns and greysens. P. L. Shulga, A. M. Ishchenko, T. A. Ishchenko and S. V. Gorak. New data concerning the Devonian of the Dnieper-Donetz depression. 	771 774 777 780
MINERALOGY	
 L. S. Borodin and I. I. Nazarenko. On the deviations of the pyrochlorine-group elements from the A₂B₂X₇ formula, and the rôle of constitutional water in the crystal lattice of pyrochlorne	783 787
PALAEONTOLOGY	
 V. E. Ruzhencev. Thriving and crises in the history of ammonoids A. G. Sharov. Peculiar paleozoic wingless insects belonging to a new order Monura (Insecta, Apterigota)	791 . 795
USTOLOGY	
 L. B. Berlin. Histological processes that take place in the course of healing of closed-up operational wounds in dogs and cats	799 803
ENETICS	
S. I. Alikhanian and F. S. Klepikova. A study of the effect produced by X-rays upon variation in Actinomyces subtropicus (the producer of albomycine)	806 637



		Dage
ECOL	COGY	Page
(67)	A. A. Peredelsky, N. A. Poriadkova, L. Z. Rodionova and S. V. Tarchevskaya. The role of earthworms in the purification of soil from pollution with radiactive isotopes	80
MICROBIOLOGY		
(3)A.	S. G. Rybakova. The microflora of deep-seated oils of tertiary age at the Apsheron peninsula	81
ROT	ANICS	
	at the second state of the second second blotomy of	
121	the flowering of certain Eucalyptus species	81
PLA	NT PHYSIOLOGY	
163	B. E. Kravtsova. On the rôle of leaves of different storeys in the formation of fructification organs in spring wheat	82
MOR	RPHOLOGY	
i ii.	V. N. Maiorov. In vivo observation of interneuronic connection and receptors in the bladder of Rana temporaria	82
HY	SIOLOGY	
	B. Kh. Gurevich. On the fixing of the eye with the aid of muscle sense and on the	00/
	possible rôle of proprioception in visual fixation	829
	phalic barrier in the case of certain experimental influences applied to the organism	833
	L. V. Lobanova. Motor-defensive conditioned reflexes in the case of successive exclusion of sight, smell, hearing and the function of the vestibular appara-	
	tus in dogs	837
	S. N. Romanov. Reactive changes observed in the neurons of the encephalon in the course of excitation of peripheral nerves	841
EMB	RYOLOGY	
1.1.1	A. S. Ginzburg The time of contact establishment between the egg and the spermatozoon in sturgeons	845



Т-08821. Подписано к печати 2/IX 1957 г. Тираж 5900 экз. Зак. 1710 Формат бумаги $70 \times 108^{1}/_{16}$. Бум. л. 18,49. Печ. л. $6^{3}/_{4}+7$ вкл. Уч.-изд. л. 18,8

2-я типография Издательства Академии наук СССР. Москва, Шубинский пер., 10

MATEMATUKA

Я. С. БУГРОВ

ЗАДАЧА ДИРИХЛЕ ДЛЯ КРУГА

(Представлено академиком А. Н. Колмогоровым 14 III 1957)

1. Настоящая статья посвящена выяснению дифференциальных свойств полигармонических функций в круге в зависимости от дифференциальных свойств граничных функций.

Мы рассматриваем задачу Дирихле для уравнения

$$\Delta^{l}U\left(\rho,\theta\right)=0 \quad (l=1,2,\ldots) \quad \{0\leqslant\rho\leqslant1;\ 0\leqslant\theta\leqslant2\pi\};\tag{1}$$

$$\frac{\partial^{k} U\left(\rho,\,\theta\right)}{\partial \rho^{k}}\bigg|_{\rho=1} = \varphi_{k}\left(\theta\right) \quad (k=0,\,1,\,\ldots,\,\,l-1),\tag{2}$$

где Δ — оператор Лапласа.

Нами доказана следующая теорема, обобщающая соответствующие результаты С. М. Никольского (1) и Т. И. Аманова (2).

Теорема 1. Если периода 2π функции $\varphi_h(\theta) \in H_p^{r+l-(k+1)}(M)$ $(k=0,1,\ldots,l-1),$ то полигармоническая функция

 $U(\rho,\theta)\in H_p^{r+1/p+l-1}(cM),$

где r>0, $1 \leqslant p \leqslant \infty$ (при l>1 r нецелое)*.

При p=2 и l=1 это результат С. М. Никольского (1). При p=2 и l=2 наш результат несколько усиливает соответствующий результат Т. И. Аманова (2).

Отметим, что наш результат при l=r+1/2 (p=2) перекрывается с соответствующим результатом В. М. Бабича и Л. Н. Слободецкого (4). Он не вытекает из результата этих авторов, так же как из нашего не следует точно их результат. Отметим еще относящиеся к этим вопросам исследования Н. И. Мозжеровой (5) и О. В. Бесова (6).

2. Рассмотрим гармонический полином n-го порядка в единичном круге

$$\Phi_n(\rho,\theta) = \sum_{k=0}^{n} \rho^k (a_k \cos k\theta + b_k \sin k\theta). \tag{3}$$

Обозначим

$$\| \Phi \|_{L_{p}(R)} = \left(\int_{R}^{1} \int_{0}^{2\pi} | \Phi (\rho, \theta) |^{p} \rho \, d\rho \, d\theta \right)^{1/p} (R \geqslant 0); \| \Phi_{n} \|_{p} = \| \Phi_{n} \|_{L_{p}(0)}.$$

Лемма 1. Имеют место неравенства

$$\left\| \frac{\partial^{l} \Phi_{n}}{\partial \rho^{l}} \right\|_{L_{p}(R)} \leqslant C_{R} n^{l} \| \Phi_{n} \|_{L_{p}(R)}, \tag{4}$$

^{*} Определение классов $H_p^r(M)$ см. в (3).

где C_R — постоянная, зависящая от R и l;

$$\left\| \rho^{l} \frac{\partial^{l} \Phi_{n}(\rho, \theta)}{\partial \rho^{l}} \right\|_{p} \leqslant c n^{l} \| \Phi_{n} \|_{p}; \tag{5}$$

$$\left\| \frac{\partial^l \Phi_n}{\partial \theta^l} \right\|_p \leqslant n^l \| \Phi_n \|_p, \tag{6}$$

 $e\partial e$ $l=1,2,\ldots;$ $1\leqslant p\leqslant\infty.$ Доказательство. Из (3) имеем

$$\frac{\partial^l \Phi_n}{\partial \rho^l} = \sum_{i=1}^l \Psi_n^{(i)}(\rho, \theta),$$

где $\Psi_n^{(i)}(\rho,\theta) = \frac{\lambda_i}{\rho^L} \sum_{k=1}^n k^i \rho^k \left(a_k \cos k\theta + b_k \sin k\theta \right)$ и λ_i $(i=1,\ldots,l)$ — соответствующие постоянные. Очевидно,

$$\Psi_n^{(i)}(\rho,\theta) = \frac{\lambda_i}{\pi \rho^i} \int_0^{2\pi} \Phi_n(\rho, u + \theta) \sum_1^n k^i \cos ku \, du =$$

$$= \frac{2\lambda_i n^i}{\pi \rho^i} \int_0^{2\pi} \cos nu \cdot \Phi_n(\rho, u + \theta) \, \sigma_n^{(i)}(u) \, du, \tag{7}$$

где $\sigma_n^{(i)}(u) = \sum_{0}^{n-1} \left(1 - \frac{k}{n}\right)^i \cos ku$ и штрих означает, что при k = 0 соответствующее слагаемое суммы равно 1/2.

Применяя преобразование Абеля к последней сумме, получим

$$\sigma_n^{(i)}(u) = \sum_{k=0}^{n-3} (k+1) \Delta^2 \left(1 - \frac{k}{n}\right)^i F_k(u) + \frac{1}{n^{i-1}} F_{n-1}(u) + \frac{n-1}{n^i} (2^i - 2) F_{n-2}(u),$$

где $F_k\left(u\right)$ — ядра Фейера, $\Delta^2\mu_k = \mu_k - 2\mu_{k+1} + \mu_{k+2}$. Существенно отметить, что $F_k\left(u\right) \geqslant 0$ и $\Delta^2\left(1-\frac{k}{n}\right)^i \geqslant 0$, вследствие чего $\sigma_n^{(i)}\left(u\right) \geqslant 0$ и $\frac{1}{\pi}\int\limits_0^{2\pi} |\sigma_n^{(i)}\left(u\right)| du = 1$ $(i=1,2,\ldots)$.

Применяя к (7) обобщенное неравенство Минковского ((7), стр. 246), получим

$$\|\Psi_n^{(i)}\|_{L_p(R)} \leq 2 |\lambda_i| n^i R^{-l} \|\Phi_n\|_{L_p(R)} \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} |\sigma_n^{(i)}(u)| du \leq C_R n^i \|\Phi_n\|_{L_p(R)},$$

откуда следуют (4) и (5). Что касается неравенства (6), то оно следует из того факта, что $\Phi_n(\rho,\theta)$ есть тригонометрический полином по θ (1,3). При $\rho=\infty$ неравенства (4), (5) и (6), являющиеся аналогами неравенства Бернштейна, были доказаны А. Л. Шагиняном (8).

3. Доказательство теоремы 1 при l=1. В этом случае

решение краевой задачи (1), (2) можно записать в виде ($\varphi = \varphi_0$)

$$U(\rho,\theta) = \frac{1}{2\pi} \int_{0}^{2\pi} K(\rho, \boldsymbol{u}) \, \varphi(\boldsymbol{u} + \theta) \, d\boldsymbol{u},$$

где

$$K(\rho,\theta) = \sum_{k=0}^{\infty} \rho^{k} \cos k\theta = \sum_{k=0}^{\infty} (k+1) \Delta^{2} \rho^{k} F_{k}(\theta) \quad (0 \leqslant \rho < 1).$$

Пусть

$$\varphi(\theta) \sim \sum_{0}^{\infty} A_{k}(\theta) = \sum_{0}^{\infty} (a_{k} \cos k\theta + b_{k} \sin k\theta),$$

$$S_{n} = S_{n}(\varphi; \theta) = \sum_{0}^{n} A_{k}(\theta), \quad \tau_{n}(\varphi; \theta) = \frac{S_{n} + \dots + S_{2n-1}}{n}.$$

Тогда

$$\|\tau_{n}(\varphi;\theta)\|_{p}^{*} = \left(\frac{1}{2\pi}\int_{0}^{2\pi} |\tau_{n}(\varphi;\theta)|^{p} d\theta\right)^{1/p} =$$

$$= \left(\frac{1}{2\pi}\int_{0}^{2\pi} \left|\frac{1}{\pi}\int_{0}^{2\pi} [2F_{2n-1}(u) - F_{n-1}(u)] \varphi(u+\theta) du\right|^{p} d\theta\right)^{1/p} \leqslant B \|\varphi\|_{p}^{*}, \quad (8)$$

где B— константа. Это следует, после применения обобщенного неравенства Минковского, из того факта, что ядро Фейера ограничено в метрике L.

Далее, так как $\varphi \in H^r_p(M)$, то существует тригонометрический полином $T_n(\theta)$ порядка n такой, что

$$\|\varphi - T_n\|_p^* \leqslant \frac{cM}{n^r}.$$
 (9)

Из (8), (9) и того факта, что $\tau_n(T_n;\theta) = T_n(\theta)$ для всех тригонометрических полиномов порядка n, следует, что

$$\parallel \varphi(\theta) - \tau_n(\varphi; \theta) \parallel_p^* \leq \frac{cM(B+1)}{n'}. \tag{10}$$

Построим гармонический полином (2n-1)-го порядка

$$\Phi_n(\rho,\theta) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} K(\rho,u) \, \tau_n(\varphi;u+\theta) \, du.$$

Тогда

$$U(\rho,\theta) - \Phi_{n}(\rho,\theta) = \frac{1}{2\pi} \int_{0}^{2\pi} K(\rho,u) \left[\varphi(\theta+u) - \tau_{n}(\varphi; u+\theta) \right] du =$$

$$= \frac{1}{2\pi} \int_{0}^{2\pi} \sum_{n=1}^{\infty} (k+1) \Delta^{2} \rho^{k} F_{k}(u) \left[\varphi(u+\theta) - \tau_{n}(\varphi; u+\theta) \right] du.$$

Отсюда, применяя обобщенное неравенство Минковского, получим

$$||U - \Phi_{n}||_{p} \leq ||\varphi - \tau_{n}||_{p}^{*} \left(\int_{0}^{1} \left| \sum_{n=1}^{\infty} (k+1) \Delta^{2} \rho^{k} \right|^{p} d\rho \right)^{1/p} =$$

$$= ||\varphi - \tau_{n}||_{p}^{*} \left(\int_{0}^{1} |(n+1) \Delta \rho^{n+1} + \rho^{n+1} |^{p} d\rho \right)^{1/p} \leq$$

$$\leq \frac{cM(B+1)}{n^{r}} \left[(n+1) \left(\frac{\Gamma(p+1) \Gamma(np+p+1)}{\Gamma(np+2p+2)} \right)^{1/p} + \left(\frac{1}{(n+1) p} \right)^{1/p} \right],$$

где $\Gamma(u)$ — гамма-функция; $\Delta \rho^k = \rho^k - \rho^{k+1}$.

$$\parallel U - \Phi_n \parallel_p \leqslant \frac{c_1 M}{p^{r+1/p}} \quad (1 \leqslant p \leqslant \infty). \tag{11}$$

Известным методом Бернштейна, с помощью которого доказывается обратная теорема о наилучшем приближении, из (11), используя лемому 1, легко доказывается, что $U\left(\rho,\theta\right)$ принадлежит к классу $H_p^{r+1/p}\left(c_1M\right)$ функций, определенных на кольце $1/2 \leqslant \rho \leqslant 1$, $0 \leqslant \theta \leqslant 2\pi$, а следовательно, и к классу функций, определенных на круге $0 \leqslant \rho \leqslant 1$, так как $U\left(\rho,\theta\right)$ гармонична для $\rho \leqslant 1$ (см., например, (7), стр. 264).

4. Пусть l > 1. Известно, что полигармоническую функцию в круге

всегда можно представить в виде

$$U(\rho, \theta) = \sum_{k=0}^{l-1} (1 - \rho^2)^k U_k(\rho, \theta),$$

где $U_k(\rho,\theta)$ — гармонические функции.

Так как рассуждения одинаковы для любых l, то для простоты рассмотрим случай l=2. Решение краевой задачи (1), (2) при l=2 имеет вид

$$U(\rho, \theta) = (1 - \rho^2) U_1(\rho, \theta) + U_0(\rho, \theta).$$
 (12)

Гармонические функции U_0, U_1 определяются из следующих условий:

$$U_0|_{\rho=1} = \varphi_0(\theta), \quad U_1|_{\rho=1} = \frac{1}{2}\varphi_1(\theta) - \left[\rho \frac{\partial U_0}{\partial \rho}\right]_{\rho=1}. \tag{13}$$

В силу результата п. 3 $U_0 \in H_p^{r+1+1/p}(cM)$.

По теореме вложения С. М. Никольского (3) $\frac{\partial U_0}{\partial \rho}\Big|_{\rho=1} \in H_p^r(cM)$, а $\varphi_1(\theta) \in H_p^r(M_1)$ по условию; следовательно,

$$U_1(\rho,\theta) \in H_p^{r+1|p}(c(M+M_1)).$$

В силу (12) бигармоническая функция $U(\rho,\theta)\in H_p^{r+1/p'+1}(c(M+M_1))$. Таким образом, теорема 1 доказана полностью.

В заключение приношу искреннюю благодарность моему учителю

С. М. Никольскому за помощь в работе.

Математический институт им. В. А. Стеклова Академии наук СССР Поступило 7 X II 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ С. М. Никольский, Матем. сборн., 40 (82), в. 3, 303 (1856); 43 (85), в. 1 (1957). ² Т. И. Аманов, ДАН, 88, № 3, 389 (1953). ³ С. М. Никольский, Матем. сборн., 33 (75), 261 (1953). ⁴ В. М. Бабич, Л. Н. Слободецкий, ДАН, 106, № 4, 604 (1956). ⁵ Н. И. Мозжерова, Граничные свойства гармонических функций в трехмерном пространстве, Диссертация, Матем. инст. им. В. А. Стеклова АН СССР, 1956. ⁶ О. В. Бесов, Изв. АН СССР, сер. матем., 20, 469 (1956). ⁷ С. М. Никольский, Тр. Матем. инст. им. В. А. Стеклова АН СССР, 38, 244 (1951). ⁸ А. Л. Шагинян, ДАН, 90, 141 (1953).

в. н. гольдберг

О ВОЗМУЩЕНИИ ЛИНЕЙНЫХ ОПЕРАТОРОВ С ЧИСТО ДИСКРЕТНЫМ СПЕКТРОМ

(Представлено академиком С. Л. Соболевым 13 III 1957)

В заметке рассматривается вопрос о зависимости собственных значений и собственных элементов неограниченного оператора $H_{\epsilon} = \epsilon V + H_0$ ($\epsilon \geqslant 0$) с областью определения в гильбертовом пространстве G от малого параметра ϵ , где H_0 — линейный неограниченный оператор; V — линейный неограниченный оператор, имеющий более узкую область определения, чем H_0 . Типичными примерами таких возмущений являются известные из физики примеры дифференциальных операторов, содержащих малый параметр при старшей производной. Общие теоремы, доказываемые нами, применяются к некоторым дифференциальным операторам.

Обозначим через D_0 область определения оператора H_0 и через D_1 область определения оператора V. Предполагается, что $D_1 \subset D_0$ и D_1

всюду плотна в G.

Пусть:

1) $(V\varphi, \varphi) \gg 0$ при $\varphi \in D_1$;

2) оператор H_{ε} ($\varepsilon \gg 0$) самосопряженный и оператор H_{0} положительно-определенный;

3) множество всех φ из области определения оператора H_0 , удовле-

творяющих условию ($H_0 \varphi$, φ) \leqslant 1, компактно в G.

Из предположений 1)-3) вытекает по теореме Реллиха (1), что оператор H_{ε} ($\varepsilon > 0$) имеет чисто дискретный спектр. Обозначим через λ_n (ε) n-е собственное значение и через φ_n (ε) — соответствующий λ_n (ε) произвольный собственный элемент оператора H_{ε} .

Собственные элементы оператора H_{ε} ($\varepsilon \geqslant 0$) будем считать ортонор-

мированными. Введем следующие обозначения:

$$J_0 [\varphi] = (H_0 \varphi, \varphi); \quad D_0^{(1)} = \{ \varphi \in D_0; \quad \| \varphi \| = 1 \};$$

$$D_1^{(1)} = \{ \varphi \in D_1; \quad \| \varphi \| = 1 \};$$

$$D_1^{(i)} = \{ \varphi \in D_1; \quad \| \varphi \| = 1; \quad (\varphi, \varphi_j(0)) = 0 \} \quad (i > 1); \quad j = 1, 2, \dots, \quad (i - 1).$$

Будем говорить, что при некотором i выполняется условие аппроксимации (у. а.), если для любого $\eta>0$ найдется такой элемент $\psi\in D_1^{(i)}$, что $J_0\left[\psi\right]-\lambda_i\left(0\right)<\eta$. У. а. выполняется автоматически, когда $D_1=D_0$. Последний случай рассматривается в статье Като (²), некоторые результаты которой аналогичны результатам следующей теоремы 1.

T е о p е м а 1. Пусть оператор $H_{\varepsilon}=\varepsilon V+H_{0}$ удовлетворяет условиям

1)—3) u y. a. выполняется при $i = 1, 2, \ldots$

Тогда:

1) $\lambda_i(\varepsilon) \rightarrow \lambda_i(0)$ npu $\varepsilon \rightarrow 0$ (i = 1, 2, ...);

2) какова бы ни была последовательность $\varepsilon_k \to 0$ при $k \to \infty$ и элементы φ_i (ε_k), существует подпоследовательность $\widetilde{\varepsilon}_k \to 0$ при $k \to \infty$ и элементы φ_i (0), такие, что J_0 [φ_i ($\widetilde{\varepsilon}_k$) — φ_i (0)] $\to 0$ при $k \to \infty$ ($i = 1, 2, \ldots$).

Доказательство теоремы 1 проводится с помощью экстремальных свойств собственных элементов.

Следствие. Пусть кратность каждого собственного значения оператора H_0 равна единице.

Тогда:

1) существует такое $\varepsilon_0(i)$, что при всех $\varepsilon < \varepsilon_0(i)$ кратность i-го собственного значения оператора $H_{arepsilon}$ также равна единице.

2) $J_0[\varphi_i(\varepsilon) - \varphi_i(0)] \rightarrow 0$ npu $\varepsilon \rightarrow 0$ (i = 1, 2, ...);

T е о р е м а 2. Пусть оператор $H_{\varepsilon} = \varepsilon V + H_0$ удовлетворяет условиям 1) — 3). Пусть далее для некоторого натурального і существует последовательность $\varepsilon_k \to 0$ при $k \to \infty$ и элементы $\varphi_i(\varepsilon_k), \varphi_i(0)$ (j=1, 2, ..., i)такие, что:

1) $\lambda_i(\varepsilon_k) \rightarrow \lambda_i(0)$ npu $k \rightarrow \infty$ (j = 1, 2, ..., i);

2) $\| \varphi_j(\varepsilon_k) - \varphi_j(0) \| \to 0$ при $k \to \infty$ $(j = 1, 2, \dots, i)$. Тогда для i = j выполняется y.a.

Для проверки выполнения у. а., как это будет видно из приводимых ниже примеров, удобно пользоваться теоремой 3.

Tеорема 3. Пусть для оператора $H_{\varepsilon} = \varepsilon V + H_0$ выполняются ус-

ловия:

А. H_{ε} удовлетворяет условиям 1) — 3).

- В. Для любого элемента $\varphi \in D_0^{(1)}$ существует последовательность элементов $\psi_n \in D_1^{(1)}$ такая, что:
 - 1) $\|\psi_n \varphi\| \to 0$ npu $n \to \infty$; 2) $J_0[\psi_n] \rightarrow J_0[\varphi]$ npu $n \rightarrow \infty$.

Tогда для $i=1,2,\ldots$ выполняется y. a.

 Π ример 1. Обозначим через H_{ε} ($\varepsilon > 0$) дифференциальный оператор, порождаемый дифференциальным выражением

$$l_{\varepsilon}[y] \equiv \varepsilon y^{(\text{IV})} - \frac{d}{dx}[p(x)y'] + q(n)y$$

и краевыми условиями

$$y(a) = y'(a) = y(b) = y'(b) = 0.$$

Через H_{0} обозначим дифференциальный оператор, порождаемый дифференциальным выражением

$$l_0[y] = -\frac{d}{dx} [p(x)y'] + q(x)y$$

и краевыми условиями

$$y\left(a\right) =y\left(b\right) =0.$$

Предполагается, что

$$p(x) \geqslant p_0 > 0;$$
 $p(x) \in C_{[ab]}^1;$ $q(x) \in C_{[ab]}.$

Для проверки выполнения у. а. пользуемся теоремой З. Так как кратность каждого собственного значения оператора H_0 равна единице, то из теоремы 1 следует:

1) $\lambda_i(\varepsilon) \rightarrow \lambda_i(0)$ при $\varepsilon \rightarrow 0$ (i = 1, 2, ...);

2) $y_i(x, \varepsilon) \rightarrow y_i(x, 0)$ при $\varepsilon \rightarrow 0$ равномерно относительно $x \in [a, b]$

3)
$$\int_{a}^{b} [y'_{i}(x,\varepsilon) - y'_{i}(x,0)]^{2} dx \to 0$$
 при $\varepsilon \to 0$ ($i = 1, 2, \ldots$).

Отметим, что утверждения 1) и 2) содержатся также в заметке

В. Б. Глазко (3):

 Π р и м е р $\stackrel{.}{2}$. Пусть Ω — область n-мерного пространства, ограниченная достаточно гладкой поверхностью S. Обозначим через H_0 дифференциальный оператор, порождаемый дифференциальным выражением

$$l_0[u] = -\Delta u = -\sum_{i=1}^n \frac{\partial^2 u}{\partial x_i^2}$$

и краєвым условием $u|_S=0$. Через H_{ε} ($\varepsilon>0$) обозначим дифференциальный оператор, порождаемый дифференциальным выражением

$$l_{\varepsilon}[u] \equiv \varepsilon \Delta^2 u - \Delta u$$

и краевыми условиями

$$u \Big|_{S} = 0, \quad \frac{\partial u}{\partial n} \Big|_{S} = 0.$$

Оператор H_{ϵ} ($\epsilon > 0$) положительно-определенный и может быть расширен до самосопряженного ((4), стр. 15—24). Из известных теорем о полной непрерывности оператора вложения (ϵ) следует выполнение условия 3.

Имеет место следующая теорема:

 Γ е о р е м а. Пусть область Ω ограничена гладкой поверхностью S. Если функция u(x) дважды непрерывно дифференцируема в $\overline{\Omega}$ и равна нулю на S, то можно построить функцию v(x), дважды непрерывно дифференцируемую в $\overline{\Omega}$ и равную нулю в некоторой пограничной полосе, так, чтобы выполняльсь неравенство

$$\int_{\Omega} \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{\partial u}{\partial x_i} - \frac{\partial v}{\partial x_i} \right|^2 d\Omega < \varepsilon,$$

где ε — любое наперед заданное положительное число ((4), стр. 129).

Для проверки выполнения у. а. для $i=1,\,2,\ldots$ пользуемся этой теоремой и теоремой 3.

Таким образом, справедлива теорема 1.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю **А.** Г. Сигалову.

Горьковский государственный университет

Поступило 12 III 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ С. Г. Михлин, Вестн. ЛГУ, № 8, сер. матем., физ., хим., в. 3, 23 (1954). ² Т. Каtо, Math. Ann., 125, 5, 405 (1953). В. Б. Глазко, ДАН, 108, № 5 (1956). ⁴ С. Г. Михлин, Проблема минимума квалратичного функционала, М.—Л., 1952. ⁵ С. Л. Соболев, Некоторые применения функционального анализа в математической физике, Л., 1950, стр. 83—94.

MATEMATUKA

К. В. ЗАДИРАКА

ОБ ИНТЕГРАЛЬНОМ МНОГООБРАЗИИ СИСТЕМЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ, СОДЕРЖАЩЕЙ МАЛЫЙ ПАРАМЕТР

(Представлено академиком Н. Н. Боголюбовым 11 III 1957)

Рассмотрим систему дифференциальных уравнений

$$\frac{dx}{dt} = f(t, x, z, t/\mu), \quad \mu \frac{dz}{dt} = F(t, x, z)$$
 (1)

с начальными условиями x^0, y^0 при $t=t_0$, где x и f-n-мерные, а z и F-m-мерные векторы, и так называемую вырожденную ($\mu=0$) и усредненную по аргументу t/μ систему

$$\frac{d\overline{x}}{dt} = f_0(t, \overline{x}, \overline{z}), \quad \overline{z} = \varphi(t, \overline{x}), \quad \overline{x}(t_0) = x^0, \tag{2}$$

где $z = \varphi(t, x)$ — корень системы F(t, x, z) = 0; $f_0(t, x, z) = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_0^T f(t, x, z, y) dy$.

Система (1) при отсутствии аргумента t/μ сводится к системе, которую рассматривали А. Н. Тихонов (2) и И. С. Градштейн (3) на конечном интервале t. Мы будем рассматривать вопрос о существовании интегрального многообразия системы (1), близкого к интегральному многообразию $z=\varphi(t,x)$.

Будем предполагать, что в области

$$-\infty < t < \infty, \quad x \in G, \quad |z - \varphi(t, x)| \le \rho, \quad 0 < \mu < \mu^*$$

выполняются следующие условия:

а) вектор f непрерывен, ограничен и удовлетворяет условию Липшица по x и z;

б) векторы F и ϕ и их производные по всем аргументам до второго порядка включительно непрерывны и ограничены;

в) вторые смешанные производные вектора F по x и z удовлетворяют условию Липшица по z;

г) равномерно по $x \in G$ существует предел

$$f_0(t, x, z) = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_0^T f(t, x, z, y) dy;$$

д) корни характеристического уравнения $\det \| pE - \mathcal{U} \| = 0$, где матрица $\mathcal{U}(t, x) = F_z|_{z=0}$; E — единичная матрица, удовлетворяют условию $\operatorname{Re}\{p_i(t, x)\} \leqslant -\alpha \leqslant 0$.

Теорема 1. При этих условиях можно указать такое положительное число μ_0 , что для каждого положительного числа $\mu < \mu_0$ система 646

уравнений (1) имеет единственное интегральное многообразие *, представимое соотношением вида $z(t, x, \mu) = \varphi(t, x) + \psi(t, x, \mu)$, в котором $\psi(t, x, \mu)$ как функция (t, x) определена в области $-\infty < t < \infty$, $x \in G$ и удовлетворяет неравенствам

$$| \psi(t, x, \mu) | \leq D(\mu) < \rho, \quad | \psi(t, x', \mu) - \psi(t, x'', \mu) | \leq \Delta(\mu) | x' - x''|,$$

причем $D(\mu) \rightarrow 0$, $\Delta(\mu) \rightarrow 0$ при $\mu \rightarrow 0$.

Доказательство. Переходя в системе (1) к новому аргументу с помощью подстановки $t=\mu\tau$, производя замену $z=\varphi(\mu\tau, x)+\xi$ и выделяя во втором из них линейную часть, приведем систему (1) к виду

$$\frac{dx}{d\tau} = \mu \Phi (\tau, x; \xi, \mu), \quad \frac{d\xi}{d\tau} = \mathcal{U}(\mu \tau, x) \xi + Q(\tau, x, \xi, \mu), \quad (3)$$

где

$$\mathscr{U}\left(\mu\tau,\ x\right) = F_{\xi}|_{\xi=0}, \quad Q\left(\tau,\ x,\ \xi,\ \mu\right) = Z\left(\mu\tau,\ x,\ \xi\right) - \mu\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}f + \frac{\partial\varphi}{\partial t}\right),$$

причем

$$|Z(\mu \tau, x, \xi)| \leq M |\xi|^2, Z(\mu \tau, x, 0) = 0.$$

При условиях, наложенных на векторы f, F и ϕ , имеют место неравенства

$$\mu \mid \Phi(\tau, x, \xi, \mu) \mid \leq \mu L, \quad \mid Q(\tau, x, \xi, \mu) \mid \leq M \mid \xi \mid^{2} + \mu N, \\
\mu \mid \Phi(\tau, x', \xi', \mu) - \Phi(\tau, x'', \xi'', \mu) \mid \leq \mu A \{ |x' - x''| + |\xi' - \xi''| \},$$
(4)

$$|Q(\tau, x', \xi', \mu) - Q(\tau, x'', \xi'', \mu)| \le (B\sigma + \mu C)\{|x' - x''| + |\xi' - \xi''|\}, \quad (5)$$

где L, M, N, A, B, C — постоянные числа; $B \sigma = \max \{B_1 \mid \xi \mid^2, B_2 \mid \xi \mid \}$, причем $\sigma \to 0$ при $\mid \xi \mid \to 0$.

Рассмотрим матричное уравнение

$$\frac{dU\left(\tau, \ \tau_{1}, \ x\right)}{d\tau} = \mathcal{U}\left(\mu\tau, \ x\right)U\left(\tau, \ \tau_{1}, \ x\right), \quad U|_{\tau=\tau_{1}} = E. \tag{6}$$

Так как матрица $\mathscr{U}(\mu\tau,\ x)$ ограничена и удовлетворяет условию Липшица

$$| \mathscr{U}(\mu\tau', x) - \mathscr{U}(\mu\tau'', x) | \leqslant \mu H | \tau' - \tau'' | \quad (H = \text{const}), \tag{7}$$

то, согласно теореме Н. Я. Лященко (4), для матрицы U имеет место оценка

$$|U(\tau, \tau_1, x)| \leq Ke^{-\frac{\alpha}{4}(\tau - \tau_1)} \quad (\tau > \tau_1).$$
 (8)

Будем вместо системы (3) рассматривать систему

$$\frac{dx}{d\tau} = \mu \Phi_1 (\tau, \bar{x}, \xi, \mu),$$

$$\frac{d\xi}{d\tau} = \mathcal{D}_1[(\mu \tau, x) \xi + Q_1(\tau, x, \bar{x}, \mu), (3')]$$

где Φ_1 , Q_1 , \mathcal{U}_1 совпадают с Φ , Q, \mathcal{U} в области $-\infty < t < \infty$, $x \in G$, $|\xi| \le \rho$, $0 < \mu < \mu^*$, а вне этой области удовлетворяют условиям (4), (5), (7), (8) с постоянными L_1 , M_1 , N_1 , A_1 , B_1 , C_1 , H_1 , K_1 .

^{*} Говоря об интегральном многообразии, мы имеем в виду, что из соотношения $z_t = z\left(t,\; x_t,\; \mu\right)$, справедливого в некоторый момент времени t_0 , вытекает справедливость этого соотношения при некотором t, пока x_t остается в области G.

Рассматривая рекуррентное соотношение

$$\psi_{n+1}(\tau, x) = \int_{-\infty}^{\tau} U_1(\tau, \tau - z, x) Q_1\{\tau + z; x_n^{\tau}(x); \psi_n(\tau + z; x_n^{\tau}(x)); \mu\} dz, (9)$$

где x_n^{τ} и x_n^{τ} — решения уравнения

$$\frac{dx}{d\tau} = \mu \Phi_1 \left(\tau, \ x, \ \psi_n \left(\tau, \ x \right), \ \mu \right), \tag{10}$$

с начальными значениями, соответственно, x^0 и x^* при $\tau = \tau_0$, и поль- τ_0 зуясь методом Н. Н. Боголюбова (1), устанавливаем неравенства

$$| \psi_{n}(\tau, x) | \leq D(\mu), \quad | \psi_{n+1}(\tau, x) - \overset{*}{\psi}_{n}(\tau, x) | \leq$$

$$\leq \Delta(\mu) | x^{0} - x^{*} | + \frac{1}{2} | \psi_{n} - \overset{*}{\psi}_{n-1} |$$
(11)

и, в частности,

$$| \psi_n(\tau, x) - \psi(\tau, x) | \leq \Delta(\mu) | x^0 - x^* |,$$
 (12)

$$\|\psi_{n+1}(\tau, x) - \psi_n(\tau, x)\| \leqslant \frac{1}{2} \|\psi_n - \psi_{n-1}\|, \tag{13}$$

причем для $\mu < \mu_0$ $D(\mu) \rightarrow 0$ и $\Delta(\mu) \rightarrow 0$ при $\mu \rightarrow 0$.

Эти неравенства гарантируют принадлежность функций ψ_n к области определения ξ и существование единственного решения ψ (τ , x, μ) уравнения

$$\psi(\tau, x, \mu) = \int_{-\infty}^{\tau} U(\tau, \tau - z, x) Q(\tau + z; x^{\tau}(x); \psi(\tau + z; x^{\tau}(x)); \mu) dz,$$

которое, очевидно, удовлетворяет требованиям теоремы 1 и, как легко показать, определяет интегральное многообразие для рассматриваемой

системы дифференциальных уравнений (3).

Теорема 2. Если дополнительно к условиям теоремы 1 интегральное многообразие системы (2) имеет ограниченные и равномерно непрерывные производные по x до (m+1)-го порядка включительно, в области $-\infty < t < \infty$, $x \in G$, $|\xi| \le \rho$, $0 < \mu < \mu^*$ вектор f имеет ограниченные и равномерно непрерывные производные по x и z до m-го порядка, а вектор F-до (m+2)-го порядка включительно, то интегральное многообразие $z(t,x,\mu)=\varphi(t,x)+\psi(t,x,\mu)$ системы (1) будет иметь ограниченные и равномерно непрерывные производные по x до m-го порядка включительно.

Доказательство. Дифференцируя рекуррентное соотношение (17) по x, имеем

$$\frac{\partial \psi_{n+1}(\tau, x)}{\partial x} = \int_{-\infty}^{\tau} \left[U(\tau, \tau - z, x) \frac{dQ}{dx_n^{\tau}} \frac{dx_n^{\tau}}{dx} + \frac{\partial U(\tau, \tau - z, x)}{\partial x} Q \right] dz. \quad (14)$$

Чтобы оценить dx_n^{τ}/dx , рассмотрим матричное уравнение

$$\frac{d}{d\tau} \frac{dx_n^{\tau}}{dx} = \mu \frac{d\Phi}{dx_n^{\tau}} \frac{dx_n^{\tau}}{dx} , \qquad \frac{dx_n^{\tau}}{dx} \bigg|_{\tau = \tau_*} = E, \tag{15}$$

полученное дифференцированием по x уравнения (10).

Так как матрица коэффициентов уравнения (15) удовлетворяет условиям ранее цитированной теоремы (4), то имеем оценку

$$\left| \frac{dx_n^{\tau}}{dx} \right| \leqslant K_2 e^{-\frac{\alpha}{4} (\tau - \tau_0)} \quad (\tau > \tau_0). \tag{16}$$

Чтобы оценить U_x , продифференцируем матричное уравнение (6) по x

$$\frac{dU_{x}(\tau, \tau_{1}, x)}{d\tau} = \mathcal{U}(\mu\tau, x) U_{x} + \frac{\partial \mathcal{U}}{\partial x_{n}^{\tau}} \frac{dx_{n}^{\tau}}{dx} U, \quad U_{x} \Big|_{\tau=\tau_{1}} = 0.$$
 (17)

Учитывая, что для матричного уравнения

$$\frac{dW}{d\tau} = \mathcal{U}\left(\mu\tau, x\right)W, \quad W\Big|_{\tau=\tau_1} = E,$$

имеем оценку

$$\mid W\left(\tau,\ \tau_{1},\ x\right)\mid \leqslant Ke^{-\cdot\frac{\alpha}{4}\left(\tau\cdot-\tau_{1}\right)}\quad (W\Longrightarrow U),$$

получаем для U_x из (17)

$$\begin{split} U_x\left(\tau,\ \tau_1,\ x\right) &= \int\limits_0^\tau W\left(\tau,\ \theta,\ x\right) \frac{\partial \mathcal{U}}{\partial x_n^\tau} \, \frac{dx_n^\tau}{dx} \, U\left(\theta,\ \tau_1,\ x\right) d\theta, \\ \mid U_x\left(\tau,\ \tau_1,\ x\right) \mid &\leqslant \frac{8K^2K_2c_0}{\alpha} \, e^{-\frac{\alpha}{4}\,(\tau-\tau_1)} \quad \left(\left|\frac{\partial \mathcal{U}}{\partial x_n^\tau}\right| \leqslant c_0\right). \end{split}$$

Пользуясь условиями теоремы 2 и оценками (16), (18), имеем из соотношения (14)

$$\begin{split} \left| \frac{\partial \psi_{n+1}(\tau, x)}{\partial x} \right| & \leq \int_{-\infty}^{\tau} \left[K e^{-\frac{\alpha}{4} |z|} \left| \frac{dQ}{dx_n^{\tau}} \left| K_2 e^{-\frac{\alpha}{4} |z|} \right| + \right. \\ & + \left. \frac{8K^2 K_2 c_0}{\alpha} e^{-\frac{\alpha}{4} |z|} \left| Q \right| \right] dz \leqslant \\ & \leq \frac{4K}{\alpha} \left(a_1 + \frac{16K^2 K_2 c_0 a_0}{\alpha} \right) = c_1 \quad \left(\mid Q \mid \leqslant a_0, \quad \left| \frac{dQ}{dx_n^{\tau}} \right| \leqslant a_1 \right). \end{split}$$

Аналогично получаем оценки

$$\left|\frac{d^l\psi_n}{dx^l}\right| \leqslant c_l \quad (l=1, 2, \ldots, k).$$

Применяя теперь к рекуррентному соотношению (14) метод доказательства теоремы 1, получим для $\partial^l \psi_n / \partial x^l$ неравенства, аналогичные неравенствам (11) и (13), обеспечивающие равномерную сходимость $\partial^l \psi_n / \partial x^l$ к $\partial^l \psi / \partial x^l$ ($l=1, 2, \ldots, k$).

В заключение автор пользуется случаем выразить глубокую благодарность Н. Н. Боголюбову за ценные советы при выполнении настоя-

щей работы.

Институт математики Академии наук УССР Поступило 27 II 1957

ПИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. Н. Боголюбов, Ю. А. Митропольский, Асминтотические методы в теории нелинейных колебаний, 1955, стр. 397. ² А. Н. Тихонов, Матем. сборн., 22 (64), № 2, 193 (1948). ³ И. С. Градштейн, ДАН, 65, № 6, 789 (1949). ⁴ Н. Я. Ляценко, ДАН, 96, 237 (1954).

MATEMATHKA

в. А. ИЛЬИН

О РАВНОМЕРНОЙ СХОДИМОСТИ РАЗЛОЖЕНИЙ ПО СОБСТВЕННЫМ ФУНКЦИЯМ НЕЧЕТНОМЕРНЫХ ОБЛАСТЕЙ

(Представлено академиком С. Л. Соболевым 7 III 1957)

В настоящей работе изучается вопрос о равномерной сходимости разложений по собственным функциям уравнения $\Delta u + \lambda u = 0$ в произвольной области g любого нечетного числа измерений N с однородным краевым условием любого из трех родов при условии, что суммирование ведется в есте-

ственном порядке возрастания собственных чисел.

Для произвольной области любого четного числа измерений соответствующий вопрос был изучен нами в работе (¹). Отказ от требования абсолютной сходимости ряда Фурье и изучение равномерной сходимости этого ряда при суммировании в естественном порядке возрастания собственных чисел позволили нам в указанной работе существенно ослабить обычные условия разложимости.

В частности, в работе (1) доказано следующее утверждение:

Пусть g— произвольная область любого четного числа N измерений, допускающая применение формул Грина к собственным функциям, а f— произвольная функция, заданная в этой области и удовлетворяющая следующим двум требованиям:

1) $f \in W_p^{(N_{|2})}(g)$, $e \partial e \ p > 2$;

2) сама функция f, ее лапласиан Δf и ее повторные лапласианы до порядка* [(N-2)/4] для случая первой краевой задачи и до порядка [(N-4)/4] для случая второй или третьей краевой задачи** удовлетворяют в обобщенном смысле (m. e. «в среднем») соответствующему однородному краевому условию.

Тогда ряд Фурье функции [сходится при суммировании в порядке возрастания собственных чисел равномерно в любой строго внутренней подобласти g'.

В работе (1) указано, что найденное требование гладкости $f \in W_p^{(N/2)}$, где p>2, является для произвольной четномерной области предельно точным

и улучшено быть не может (см. замечание 3).

В настоящей работе мы доказываем соответствующую теорему разложимости для произвольной печетномерной области и также находим для этой области предельно точное требование гладкости:

$$f \in W_p^{((N-1)|2)}(g)$$
, где $p > \frac{2N}{N-1}$.

Сравнение предельно точных требований гладкости для областей четного и нечетного числа измерений приводит нас к заключению о том, что условия разложимости для четного и нечетного числа измерений различны.

Переходим к подробной формулировке результатов.

Основная теорема. Пусть g — произвольная область любого*** нечетного числа N измерений, допускающая применение формул Γ рина κ соб-

** При N=2 для случая второй или третьей краевой задачи удовлетворения краевому условию вообще не требуется.

*** При этом автоматически исключается одномерный случай N—1.

^{*} Квадратные скобки здесь и в дальнейшем обозначают, что берется целая часть заключенного в них числа.

упвенным функциям, а \mathfrak{f} — произвольная функция, заданная в этой области удовлетворяющая следующим двум требованиям:

1) $f \in W_p^{((N-1)/2)}(g)$, $e \partial e \ p > \frac{2N}{N-1}$;

2) сама функция f, ее лапласиан Δf и ее повторные лапласианы до порядка $\lfloor (N-2)/4 \rfloor$ для случая первой краевой задачи и до порядка $\lfloor (N-4)/4 \rfloor$ для лучая второй или третьей красвой задачи* удовлетворяют в обобщенном мысле (т. е. «в среднем») соответствующему однородному краевому условию.

Тогда при суммировании в порядке возрастания собственных чисел ряд Фурье функции f сходится к этой функции разномерно в любой строго внут-

ренней подобласти д'.

Замечание 1. В «классических» терминах два требования, нало-

женные на функцию f, можно сформулировать следующим образом:

1) f и ее производные до порядка (N-3)/2 непрерывны в замкнутой области g, а производные порядка (N-1)/2 интегрируемы по области gсо степенью p, где p > 2 N/(N-1);

2) f и ее повторные лапласианы, указанные в требовании 2), удовлетворяют соответствующему краевому условию в «классическом» смысле.

Замечание 2. Подчеркнем, что для случая, когда д является областью звездного типа, из известных теорем вложения (²) и из требования $f \in W_p^{((N-1)/2)}(g)$, где p > 2N/(N-1), автоматически вытекает, то: 1) f непрерывна в замкнутой области g; 2) f и ее повторные даптасианы до порядка, указанного в требовании 2 (а в случае второй или

ретьей краевой задачи — и нормальные производные от этих лапласиатов), суммируемы с квадратом по любому (N-1)-мерному кусочно-гладкому многообразию. Отсюда следует, что удовлетворение краевым условиям, содержащееся в требовании 2), не требует, чтобы функция fудовлетворяла каким-либо дополнительным требованиям гладкости, поиимо того, что $f \in W_p^{((N-1)/2)}$, где p > 2N/(N-1).

Замечание 3. Отметим, что основное устанавливаемое в настояцей работе требование гладкости $f \in W_p^{((N-1)/2)}$, где p > 2N/(N-1), является предельно точным: в этом требовании нельзя уменьшить ни порядок дифференцируемости (N-1)/2, ни степень суммируемости p.

В самом деле, уже случай N=1 показывает, что порядок дифференцируемости (N-1)/2 нельзя заменить на (N-3)/2 (каково бы пи было p!), ибо при этом разлагаемая функция f не является, вообще

товоря, непрерывной (эта функция лишь $\in L_p$).

Далее допустим, что в требовании $f \in W_p^{((N-1)/2)}$ число p = 2N/(N-1). В работе С. Л. Соболева (3) указывается на наличие ров, говорящих о том, что если $f \in W_p^{(l)}$ и pl = N, то приме $f \in W_p^{(l)}$ и pl = N, то функция не является, вообще говоря, непрерывной. Примером такой функции может служить $f(Q) = \log \log r_{PQ}$, где P — фиксированная внутренняя очка N-мерной области g, имеющей диаметр d < 1. Нетрудно проверить, что $f(Q) = W_{2N(N-1)}^{((N-1)/2)}(g)$. Этот пример показывает, что требовапие $f \in W_p^{((N-1)/2)}$, где p > 2N/(N-1), является предельно точным и γ лучшено быть не может. Еще проще строятся примеры (N-мерная сфера радиальной симметрией), указывающие на то, что если разлагаемая рункция является сколь угодно гладкой, но не удовлетворяет хотя бы одному из краевых условий, содержащихся в требовании 2), то не может быть и речи о сходимости ряда Фурье этой функции (во внутренних гочках области).

Таким образом, требования, наложенные на функцию f в формулировке основной теоремы, в совокупности представляют собой предельно точные

/словия разложимости.

st При N=3 для случая второй или третьей краевой задачи удовлетворения краевому условию вообще не требуется.

Замечание 4. Для произвольной трехмерной области д из основ и ной теоремы вытекает разложимость функции без предположения о сур

ществовании ее вторых производных.

Достаточно потребовать, чтобы функции f обладала обобщенными первыми производными, суммируемыми со степенью d>3, и для случам первой краевой задачи удовлетворяла («в среднем») однородному краевой му условию 1-го рода (для случая второй или третьей краевой задачи удовлетворения краевому условию вообще не требуется!).

Наметим схему доказательства основной теоремы.

1. Прежде всего устанавливается исходная асимптотическая формульвида

$$\sum_{V \overline{\lambda}_{i} < \mu} f_{i} u_{i} (Q) = \frac{2}{V \pi} \frac{1}{2^{(N-1)/2} \Gamma(N/2)} \int_{0}^{R} \frac{\sin \mu r}{r} D^{(N-1)/2} F_{Q}(r) dr + \alpha(\mu).$$
 (1)

Здесь $\alpha(\mu)$ обозначает бесконечно малую при $\mu \to \infty$, причем оценка α -членов равномерна относительно Q при условии, что Q принадлежит произвольной строго внутренней подобласти $g';\ R$ — любое число, н превосходящее минимума расстояния между границами g и $g';\ F_Q(r) = r^{N-1}\overline{f}_Q(r)$, где $\overline{f}_Q(r)$ — «среднее» значение f на поверхности N-мерног сферы C_r^Q радиуса r с центром в точке Q, т. е. $\overline{f}_Q(r) = \frac{1}{\omega_N r^{N-1}} \times 1$

 $\times \iint \cdots \int f(S) \, dS;$ $\omega_N = \frac{2 \, (V^-\pi)^N}{\Gamma(N/2)}$ — площадь поверхности N-мерной сферры единичного радиуса; символ D обозначает операцию $DF_Q(r) = \frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \, F_Q(r) \right];$ символ D^k — обозначает k-кратное повторное примене

ние операции D.

Для вывода исходной асимптотической формулы (1) используетствоема, имеющая много общего со схемой вывода асимптотической формулы, изложенной нами в работах $(^1,^4)$. Однако при этом появляетство ряд совершенно новых моментов, связанных с оценками поведения обобщенных производных функции одного переменного $F_Q(r)$ и со сходи мостью некоторых вспомогательных рядов. Ввиду краткости настояще истатьи мы вынуждены ограничиться этим указанием.

2. Исходя из свойств одномерных тригонометрических рядов Фурье исследуется главный член, стоящий в правой части формулы (1), и дс

казывается, что этот член имеет асимптотический порядок

$$f(Q) + \alpha(\mu), \tag{2}$$

где $\alpha(\mu)$ — бесконечно малая, равномерная относительно $Q \in g'$. В результате этого мы приходим к основной асимптотической формуле вида

$$\sum_{\substack{V \setminus \overline{\lambda}_i < \mu}} f_i u_i(Q) = f(Q) + \alpha(\mu), \tag{2}$$

где $\alpha(\mu)$ — бескопечно малая, равномерная относительно $Q \in g'$. Из асимги тотической формулы (1) непосредственно вытекает утверждение основной теоремы о равномерной сходимости ряда Фурье функции в любой строт внутренней подобласти g'.

Автор выражает глубокую благодарность А. Н. Тихонову за вниман

ние к этой работе и С. Л. Соболеву за ряд ценных замечаний.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Поступило 19 II 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. А. Ильин, ДАН, 114, № 4 (1957). ² С. Л. Соболев. Некоторые примінения функционального анализа в математической физике, Л., 1950, стр. 78. ³ С. Л. Соболев, Матем. сборн., 4 № 3 (1938). ⁴ В. А. Ильин, ДАН, 109, № 3 (1956).

MATEMATHKA

г. в. корицкий

О КРИВИЗНЕ ЛИНИЙ УРОВНЯ ПРИ ОДНОЛИСТНЫХ КОНФОРМНЫХ ОТОБРАЖЕНИЯХ

(Представлено академиком М. А. Лаврентьевым 12 III 1957)

Излагаемые ниже теоремы являются продолжением результатов, полученных автором ранее (1).

Изучается кривизна $K_{
ho}$ линий уровня (образов окружностей

$$\zeta \mid = \rho = \text{const}, \quad \zeta = \rho e^{i\varphi}$$
) в классе Σ функций $F(\zeta) = \zeta + \alpha_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\alpha_n}{\zeta^n}$,

однолистных и регулярных в области $|\zeta|=
ho>1$, кроме простого полюса $\zeta=\infty$, а также в подклассе Σ_2 класса Σ , состоящем из функций

$$F_2(\zeta) = \zeta + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\alpha_n}{\zeta^{2n-1}}$$
, и в подклассах Σ_p^* , $p=1,\;2,\ldots$, состоящих из

функций $w=F_p^*(\zeta)=\zeta+\sum_{n=1}^\infty \frac{\alpha_n}{\zeta^{np-1}}$, отображающих область ho>1 на области с p-кратной симметрией вращения и с дополнениями, звездообраз-

пасти с p-кратной симметрией вращения и с дополнениями, звездоооразными относительно точки w=0.

Полученные результаты составляют следующие теоремы.

Tеорема 1. B классе Σ имеет место точная оценка

$$K_{\rho} \leqslant \frac{\rho \left(\rho^2 + 1\right)}{\left(\rho^2 - 1\right)^2} \,. \tag{I}$$

Доказательство. Известно, что

$$K_{\varrho} = R \left\{ 1 + \frac{\zeta F''(\zeta)}{F'(\zeta)} \right\} \frac{1}{|\zeta| |F'(\zeta)|}. \tag{1}$$

Из оценки Г. М. Голузина (2)

$$\left|\frac{\zeta F''\left(\zeta\right)}{F\left(\zeta\right)}+\frac{4\rho^{2}-2}{\rho^{2}-1}-\frac{4\rho^{2}}{\rho^{2}-1}\frac{E\left(1\left/\right.\rho\right)}{K\left(1\left/\right.\rho\right)}\right|\leqslant\frac{4\rho^{2}}{\rho^{2}-1}\left[1-\frac{E\left(1\left/\right.\rho\right)}{K\left(1\left/\rho\right)}\right],$$

где
$$E\left(\frac{1}{\rho}\right) = \int_{0}^{1} \sqrt{\frac{1-x^2/\rho^2}{1-x^2}} dx$$
, $K\left(\frac{1}{\rho}\right) = \int_{0}^{1} \frac{dx}{\sqrt{(1-x^2)(1-x^2/\rho^2)}}$, следует

$$R\left\{\frac{\zeta F''\left(\zeta\right)}{F'\left(\zeta\right)}\right\} \leqslant \frac{2}{\rho^2 - 1}.\tag{2}$$

Кроме того имеем известную оценку Лёвнера (3)

$$1 - \frac{1}{\rho^2} \leqslant |F'(\zeta)|. \tag{3}$$

Из (1), (2) и (3) получим (I).

Правая часть (I) достигается функцией $F(\zeta) = \zeta + \alpha_0 + 1/\zeta$ в точке

 $\zeta = \rho$. Следствие. Так как функция $F_2(\zeta) = \zeta + 1/\zeta$ является мажорантой в теореме 1, то теорема, очевидно, остается справедливой для подклассов Σ_2 , Σ_1^* , Σ_2^* , которым принадлежит эта функция.

Теорема 2. В подклассах Σ_p^* , $p=2, 3, \ldots$, имеет место точная

оценка

$$K_{\rho} \leqslant \frac{\rho \left[\rho^{2p} + 2(p-1)\rho^{p} + 1\right]}{(\rho^{p} - 1)^{2}(\rho^{p} + 1)^{2|p|}}.$$
 (II)

Доказательство. Из известного соотношения $F_p^*(\zeta) = \sqrt[p]{F_1^*(\zeta^p)}$ по лучим

$$R\left\{1 + \frac{\zeta F_{p}^{*''}(\zeta)}{F_{p}^{*'}(\zeta)}\right\} = pR\left\{\frac{\zeta^{p}F_{1}^{*''}(\zeta^{p})}{F_{1}^{*'}(\zeta^{p})}\right\} - (p-1)R\left\{\frac{\zeta^{p}F_{1}^{*'}(\zeta^{p})}{F_{1}^{*}(\zeta^{p})}\right\} + p. \tag{4}$$

Но из (2) следует

$$R\left\{\frac{\zeta^{p}F_{1}^{*''}(\zeta^{p})}{F_{1}^{*''}(\zeta^{p})}\right\} \leqslant \frac{2}{\rho^{2p}-1},\tag{5}$$

и, так как в силу звездообразности дополнения образа области $\varrho > 1$, будем иметь $R\left\{\frac{\zeta F_1^{*'}(\zeta)}{F_1^*(\zeta)}\right\} > 0$ и функция $\Phi\left(z\right) = \frac{1}{z} \frac{F_1^{*'}\left(1/z\right)}{F_1^*\left(1/z\right)}, \quad z = \frac{1}{\zeta}$, ре

гулярна в круге |z| < 1, то можем воспользоваться известной оценкої для регулярных в круге функций с положительной действительной частью (4), из которой получим $R\left\{\Phi\left(z\right)\right\} \geqslant \frac{1-|z|}{1+|z|} = \frac{\rho-1}{\rho+1}$, откуда

$$\frac{\rho^p - 1}{\rho^p + 1} \leqslant R \left\{ \frac{\zeta^p F_1^{*'}(\zeta^p)}{F_1^*(\zeta^p)} \right\}. \tag{6}$$

Кроме того для функций Σ_p^* имеем оценку И. Е. Базилевича (5)

$$\frac{(\rho^{p}-1)(\rho^{p}+1)^{2|p-1}}{\rho^{2}} \leqslant |F_{p}^{*'}(\zeta)|. \tag{7}$$

Из (1), (4), (5), (6) и (7) получим (II).

Правая часть (II) достигается функцией $F_p^*(\zeta) = \frac{(\zeta^p+1)^{2^p}}{\zeta}$ в точке $\zeta = \rho$

Московский авиационный институт им. Серго Орджоникидзе

Поступило 7 III 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 Г. В. Корицкий, Матем. сборн., **37** (79), 1, 103 (1955). ² Г. М. Голузин Геометрическая теория функций комплексного переменного, 1952, стр. 171 ³ К. Löwner, Math. Zs., **3**, 65 (1919). ⁴ И. И. Привалов, Субгармонические функции, 1937 стр. 114. ⁵ И. Е. Базилевич, Матем. сборн., **2** (44), 4, 689 (1937).

MATEMATHKA

В. Г. ЛЕМЛЕЙН

О ПРОСТРАНСТВАХ СИММЕТРИЧНОЙ ПОЧТИ СИМПЛЕКТИЧЕСКОЙ СВЯЗНОСТИ

(Представлено академиком П. С. Александровым 6 III 1957)

В настоящей работе рассматриваются пространства симметричной аффинной связности Γ^l_{jk} , инвариантно присоединенные к невырожденному кососимметрическому тензору a_{ij} . Основным, определяющим свойством этих пространств является требование пропорциональности ковариантной производной основного тензора a_{ij} и его внешней производной:

$$\frac{\partial a_{ij}}{\partial x^{k}} - a_{il} \Gamma^{l}_{jk} - a_{lj} \Gamma^{l}_{ik} = \mu \left(x \right) \left(\frac{\partial a_{ij}}{\partial x^{k}} + \frac{\partial a_{ja}}{\partial x^{i}} + \frac{\partial a_{ki}}{\partial x^{j}} \right). \tag{1}$$

Циклирование этого соотношения по i, j, k приводит к $\mu(x) = \frac{1}{3}$. Так как (1) можно переписать в виде

$$\frac{1}{3} \left(\frac{\partial a_{ij}}{\partial x^k} - \frac{\partial a_{ki}}{\partial x^j} \right) - a_{il} \Gamma^l_{jk} = \frac{1}{3} \left(\frac{\partial a_{ji}}{\partial x^k} - \frac{\partial a_{kj}}{\partial x^i} \right) - a_{jl} \Gamma^l_{ik}, \tag{2}$$

то, обозначая

$$\frac{1}{3} \left(\frac{\partial a_{ij}}{\partial x^k} - \frac{\partial a_{ki}}{\partial x^j} \right) - a_{il} \Gamma^l_{jk} = -\frac{1}{3} \gamma_{ijk}(x), \tag{3}$$

имеем

$$\Gamma_{jk}^{l} = \frac{1}{3} a^{li} \left(\frac{\partial a_{ij}}{\partial x^{h}} - \frac{\partial a_{hi}}{\partial x^{j}} + \gamma_{ijk} (x) \right); \tag{4}$$

здесь $a^{li}a_{ik}=\hat{c}_k^l$; $\gamma_{ijk}\left(x\right)$ — произвольные функции, симметричные по любой паре индексов.

Если мы потребуем, чтобы при переходе к системе координат $\{x'\}$ γ_{ijk} преобразовывались по закону *

$$\gamma_{i'j'k'} = \frac{\partial x^i}{\partial x^{i'}} \frac{\partial x^j}{\partial x^{j'}} \frac{\partial x^k}{\partial x^{k'}} \gamma_{ijk} + a_{pq} \frac{\partial x^p}{\partial x^{(i')}} \frac{\partial^2 x^q}{\partial x^{i'}\partial x^{k')}}, \tag{5}$$

то, в силу транзитивности формул преобразования (5), γ_{ijk} будут определять поле геометрических объектов, инвариантно присоединенное к тензору a_{ij} .

Транзитивность (5) следует из тождества

$$a_{pq} \frac{\partial x^p}{\partial x^{(i'')}} \frac{\partial^2 x^q}{\partial x^{j''}\partial x^{k'')} = \frac{\partial x^{i'}}{\partial x^{j''}} \frac{\partial x^{i'}}{\partial x^{j''}} \frac{\partial x^{i'}}{\partial x^{j''}} \frac{\partial x^{k'}}{\partial x^{l''}} a_{pq} \frac{\partial x^p}{\partial x^{(i')}} \frac{\partial^2 x^q}{\partial x^{i'}\partial x^{k')}} + a_{p'q'} \frac{\partial x^{p'}}{\partial x^{(i'')}} \frac{\partial^2 x^{q'}}{\partial x^{i''}\partial x^{k'')}}, \quad (6)$$

^{*} Круглые скобки всюду означают циклирование.

которое, в свою очередь, следует из тождества

$$\frac{\partial^2 x^q}{\partial x^{j''} \partial x^{k''}} = \frac{\partial x^{j'}}{\partial x^{j''}} \frac{\partial x^{k'}}{\partial x^{i''}} \frac{\partial^2 x^q}{\partial x^{i''}} \frac{\partial^2 x^q}{\partial x^{j'} \partial x^{k'}} + \frac{\partial x^q}{\partial x^{q'}} \frac{\partial^2 x^{q'}}{\partial x^{j''} \partial x^{k'''}}.$$
 (7)

Если теперь подвергнуть Γ^l_{jh} закону преобразования аффинной связности

$$\Gamma_{j'k'}^{l'} = \frac{\partial x^{l'}}{\partial x^l} \frac{\partial^2 x^l}{\partial x^{j'} \partial x^{k'}} + \frac{\partial x^{l'}}{\partial x^l} \frac{\partial x^j}{\partial x^{j'}} \frac{\partial x^k}{\partial x^{k'}} \Gamma_{jk}^l, \tag{8}$$

то, учитывая соотношение (5), будем иметь

$$\Gamma_{j'k'}^{l'} = \frac{1}{3} a^{l'i'} \left(\frac{\partial a_{i'j'}}{\partial x^{k'}} - \frac{\partial a_{k'i'}}{\partial x^{i'}} + \gamma_{i'j'k'} \right). \tag{9}$$

Действительно, имеем

$$a_{i'k'} = \frac{\partial x^i}{\partial x^{i'}} \frac{\partial x^k}{\partial x^{k'}} a_{ik}, \tag{10}$$

$$a^{l'i'} = \frac{\partial x^{l'}}{\partial x^{l}} \frac{\partial x^{i'}}{\partial x^{p}} a^{lp}. \tag{11}$$

Дифференцируя (10) и умножая на (11), получаем

$$a^{l'i'}\frac{\partial a_{i'k'}}{\partial x^{l'}} = a^{l'i'}a_{pq}\frac{\partial x^q}{\partial x^{k'}}\frac{\partial^2 x^p}{\partial x^{i'}\partial x^{j'}} + \frac{\partial x^{l'}}{\partial x^l}\frac{\partial^2 x^l}{\partial x^{l'}\partial x^{k'}} + \frac{\partial x^{l'}}{\partial x^l}\frac{\partial x^l}{\partial x^{k'}}\frac{\partial x^l}{\partial x^{k'}}\frac{\partial x^l}{\partial x^{l'}}a^{li}\frac{\partial a_{ik}}{\partial x^l}$$
(12)

и аналогично

$$a^{l'i'}\frac{\partial a_{l'i'}}{\partial x^{k'}} = -\frac{\partial x^{l'}}{\partial x^{l}}\frac{\partial^{2}x^{l}}{\partial x^{l'}\partial x^{k'}} + a^{l'i'}a_{qp}\frac{\partial x^{q}}{\partial x^{l'}}\frac{\partial^{2}x^{p}}{\partial x^{i'}\partial x^{k'}} + \frac{\partial x^{l'}}{\partial x^{l}}\frac{\partial x^{l}}{\partial x^{l}}\frac{\partial x^{k}}{\partial x^{k'}}a^{li}\frac{\partial a_{ji}}{\partial x^{k}}. \quad (13)$$

Вычитая (13) из (12) и деля на 3, получаем:

$$\Gamma_{j'k'}^{l'} = \frac{1}{3} a^{l'i'} \gamma_{i'j'k'} = \frac{\partial x'}{\partial x^l} \frac{\partial^2 x^l}{\partial x^{l'} \partial x^{k'}} + \frac{\partial x^{l'}}{\partial x^l} \frac{\partial x^l}{\partial x^{l'}} \frac{\partial x^k}{\partial x^{k'}} \left(\Gamma_{jk}^l - \frac{1}{3} a^{li} \gamma_{ijk} \right) - \frac{1}{3} \frac{\partial x^{l'}}{\partial x^l} \frac{\partial^2 x^l}{\partial x^{l'} \partial x^{k'}} + \frac{1}{3} a^{l'i'} a_{pq} \left(\frac{\partial x^q}{\partial x^{l'}} \frac{\partial^2 x^p}{\partial x^{l'} \partial x^{k'}} + \frac{\partial x^q}{\partial x^{k'}} \frac{\partial^2 x^p}{\partial x^{l'} \partial x^{l'}} \right).$$

$$(14)$$

Два последних члена правой части в силу того, что

$$-\frac{\partial^2 x^l}{\partial x^{j'}\partial x^{k'}} \equiv \frac{\partial x^l}{\partial x^{m'}} a^{m'i'} a_{pq} \frac{\partial x^q}{\partial x^{i'}} \frac{\partial^2 x^p}{\partial x^{k'}\partial x^{j'}}, \tag{15}$$

принимают вид

$$-\frac{1}{3}a^{l'i'}a_{pq}\frac{\partial x^p}{\partial x^{(i'}}\frac{\partial^2 x^q}{\partial x^{J'}\partial x^{h')}}.$$
 (16)

Чтобы получить (8) и (9), достаточно теперь умножить (5) на $^{1}/_{3}a^{l'i'}$ и сложить с (14).

Таким образом, Γ^l_{jk} являются симметричной аффинной связностью, а входящие в них γ_{ijk} определяют оснащение многообразия, на котором задан тензор a_{ij} :

Определение. Дифференцируемое многообразие 2n измерений с заданным на нем невырожденным кососимметрическим тензором a_{ij} и определяющим оснащение объектом γ_{ijk} называется пространством симметричной почти симплектической связности.

В случае

$$T_{ijh} \equiv \frac{1}{3} \left(\frac{\partial a_{ij}}{\partial x^h} + \frac{\partial a_{jh}}{\partial x^i} + \frac{\partial a_{hi}}{\partial x^j} \right) = 0 \tag{17}$$

определенное нами пространство совпадает с пространством симметричной симплектической связности.

Укажем еще на важное соотношение

$$-a_{l(i}\Gamma_{jk)}^{l} = \gamma_{ijk}. \tag{18}$$

Рассмотрим теперь тензор кривизны

$$R_{ij,h}^{\alpha,\alpha} = \frac{\partial \Gamma_{ik}^{\alpha}}{\partial x^{i}} - \frac{\partial \Gamma_{jk}^{\alpha}}{\partial x^{i}} + \Gamma_{ik}^{\beta} \Gamma_{j\beta}^{\alpha} - \Gamma_{jk}^{\beta} \Gamma_{i\beta}^{\alpha}.$$
(19)

Если обозначить $B_{ij,kl} = a_{l\alpha} R_{ij,k}^{\dots,\alpha}$, то, учитывая (4) и

$$\nabla_l a_{ij} = T_{ijl},\tag{20}$$

мы можем $B_{ij,hl}$ привести к виду

$$B_{ij,kl} = \frac{1}{3} \left(\frac{\partial^2 a_{jl}}{\partial x^k \partial x^i} - \frac{\partial^2 a_{il}}{\partial x^k \partial x^j} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{\partial \gamma_{lik}}{\partial x^j} - \frac{\partial \gamma_{ljk}}{\partial x^i} \right) +$$

$$+ a_{\alpha\beta} \left(\Gamma_{ki}^{\alpha} \Gamma_{lj}^{\beta} - \Gamma_{kj}^{\alpha} \Gamma_{li}^{\beta} \right) - T_{l\alpha j} \Gamma_{ik}^{\alpha} + T_{l\alpha i} \Gamma_{jk}^{\alpha}.$$
(21)

В случае $T_{ijk} = 0$ (21) принимает вид

$$B_{ij,kl} = -\frac{1}{3} \frac{\partial^2 a_{ij}}{\partial x^k \partial x^l} + \frac{1}{3} \left(\frac{\partial \gamma_{lik}}{\partial x^j} - \frac{\partial \gamma_{ljk}}{\partial x^i} \right) + a_{\alpha\beta} \left(\Gamma^{\alpha}_{ki} \Gamma^{\beta}_{lj} - \Gamma^{\alpha}_{kj} \Gamma^{\beta}_{li} \right). \tag{22}$$

Рассмотрим случай

$$B_{ij,kl} = 0. (23)$$

При выполнении (23) мы можем перейти к декартовой системе координат, характеризующейся равенством

$$\Gamma^l_{lk} = 0, (24)$$

которое, в силу (18), ведет к

$$\gamma_{i/k} = 0. (25)$$

Из (4), (24) и (25) получаем

$$\frac{\partial a_{ij}}{\partial x^l} = \frac{\partial a_{jl}}{\partial x^i} = \frac{\partial a_{li}}{\partial x^j}.$$
 (26)

Но, так как из (21) $\frac{\partial^2 a_{jl}}{\partial x^h \partial x^i} = \frac{\partial^2 a_{il}}{\partial x^h \partial x^j}$, а из (26) $\frac{\partial^2 a_{jl}}{\partial x^i \partial x^h} = \frac{\partial^2 a_{li}}{\partial x^j \partial x^h}$, то $\frac{\partial^2 a_{ij}}{\partial x^h \partial x^l} = 0$, и, следовательно,

$$a_{ij} = \alpha_{ijk} x^k + \beta_{ij}, \tag{27}$$

где α_{ijk} и β_{ij} — постоянные, кососимметричные по любой паре индексов. Из (20), (26) и (27) находим $\alpha_{ijk} = T_{ijk}$, и, следовательно, $\beta_{ij} = a_{ij}$ — $T_{ijk}x^k$.

Заметим, что в случае $T_{ijk}=0$ необходимо $a_{ij}=\beta_{ij}$. Пространства, характеризующиеся условием (23), естественно назвать плоскими пространствами симметричной почти симплектической связности.

Рассматривая систему координат, геодезическую в данной точке, мы приходим к выводу, что к каждой точке общего многообразия можно

присоединить плоское пространство указанного типа.

Рассмотрим теперь ковариантный вектор

$$b_i = \frac{1}{2} a^{pq} T_{pqi}. \tag{28}$$

Легко видеть, что

$$b_i = -\frac{1}{3} \frac{1}{V\overline{a}} \frac{\partial a}{\partial x^i} + \frac{1}{3} a^{iq} \frac{\partial a_{qi}}{\partial x^j}, \qquad (29)$$

где $a=|a_{ij}|$. Но ковариантная производная \sqrt{a} имеет вид

$$\nabla_i \sqrt{a} = \frac{\partial V \overline{a}}{\partial x^i} - \sqrt{a} \Gamma^j_{ij}, \tag{30}$$

или, согласно (4),

$$\nabla_i \sqrt{a} = \frac{1}{3} \frac{\partial V\overline{a}}{\partial x^i} + \frac{1}{3} \sqrt{a} a^{jq} \frac{\partial a_{iq}}{\partial x^i}. \tag{31}$$

Учитывая (29), имеем

$$\nabla_i \sqrt{a} = -\sqrt{a} \sigma . {32}$$

Но в системе координат, геодезической в данной точке, имеем

$$\nabla_i \sqrt{a} = \frac{\partial V\overline{a}}{\partial x^i} \,. \tag{33}$$

Сравнивая (32) и (33), получаем
$$\frac{\partial Va}{\partial x^i} = -Vab_i$$
 или $\frac{\partial \ln Va}{\partial x^i} = -b_i$.

Отсюда, в частности, получаем: для того чтобы пространство симметричной почти симплектической связности было пространством с инвариантным объемом $a \det \lfloor u_u^i \rfloor$, необходимо и достаточно, чтобы ковариантный вектор $b_i = 0$.

В заключение выражаю благодарность проф. С. П. Финикову и

проф. Г. Ф. Лаптеву за замечания по работе.

Московский городской педагогический институт им. В. П. Потемкина

Поступило 5 III 1957

MATEMATUKA

А. М. РОДНЯНСКИЙ

об отображениях произведения топологического ПРОСТРАНСТВА НА ЕВКЛИДОВО В ЕВКЛИДОВО ПРОСТРАНСТВО

(Представлено академиком П. С. Александровым 28 II 1957)

В этой заметке X — топологическое пространство; R^q_{ν} , R^q_{u} — q-мерные евклидовы ориентированные пространства; $Z = [X, R_{\nu}^q]$ — топологическое произведение X на R_y^q ; x, y, z, u (возможно с индексом) — точки соответственно пространств X, R_y^q , Z, R_u^q ; $O^x = O^x(x_0)$, $O^y = O^y(y_0)$, $O^z = O^z(z_0) = O^z(x_0)$ $= O^{z}(x_{0}, y_{0}), O^{u} = O^{u}(u_{0})$ — абсолютные окрестности соответственно точек $x_0, y_0, z_0 = (x_0, y_0), u_0$ в пространствах X, R_y^q, Z, R_u^q ; те же обозначения приняты для абсолютных окрестностей подмножеств пространств X, R_y^q , Z, R_u^q относительно этих пространств; π_x , π_y — проекции пространства Z соответственно на пространства X, R_y^p ; G — непустое открытое подмножество пространства Z; f — непрерывное отображение G в R_u^q ; (x_0, y_0) — точка из $G; u_0 = f(x_0, y_0); F^u$ — замкнутое подмножество пространства R_u^q ; Φ^z — компакт $\subset G$; Λ — пустое множество; M — подмножество пространства Z.

Сверх того используются следующие обозначения и определения:

1) $M(x) = \{y : (x, y) \in M\}.$

- 2) $\widetilde{M} = \{(x, y) : (x, y) \in \overline{M}, x \in \pi_x M\} = \{(x, y) : x \in \pi_x M, y \in \widetilde{M}(x)\} = \{(x, y) : x \in \pi_x M, y \in \widetilde{M}(x)\} = \{(x, y) : (x, y) \in \widetilde{M}(x)\}$ $=\overline{M}\cap\pi_x^{-1}\pi_xM.$
- 3) M локально ограничено по y, если для любой $x_1 \in \pi_x M$ найдется $O^{x} = O^{x}(x_{1})$ такая, что $\pi_{y}(M \cap \pi_{x}^{-1} O^{x})$ ограничено в R_{y}^{q} .

4) M связно по y, если M(x) связно для любого $x \in \pi_x M$.

f(x) = f(x) в f(x) в f(x) в f(x) заданное формулой f(x) = f(x) $(y \in G(x)).$

6) \hat{f} — отображение G в $[X, R_u^q]$, заданное формулой $\hat{f}(x, y) =$

= (x, f(x, y)).

7) $E_g = (E)_g$ — граница множества E относительно того из пространств $X, R_{\nu}^{q}, Z, R_{\mu}^{q}$, которое содержит его.

8) $m\left(E\right)$ равно мощности множества E, если E конечно или Λ , и равно $+\infty$, если E бесконечно.

9) $k(\Phi^{z}(x), f_{x}) = \sup m(\Phi^{z}(x) \cap f_{x}^{-1}u).$

10) $k(\Phi^z, f) = \sup_{x \in X} (\Phi^z(x), f_x).$

11) Если f_{x_0} дифференцируемо в точке y_0 , то $J(f_{x_0}, y_0)$ обозначает

якобиан отражения f_{x_0} в точке y_0 . 12) Если для любого $x \in \pi_x G$ отображение f_x дифференцируемо на G(x), то полагаем $G^+ = \{(x, y) : (x, y) \in G, J(f_x, y) > 0\}, G^- = \{(x, y) : (x, y) \in G, J(f_x, y) < 0\}, G^0 = \{(x, y), (x, y) \in G, J(f_x, y) = 0\}.$

13) y_0 — изолированная точка отображения f_{x_0} , если для всех доста-

точно малых $h \neq 0$ имеем $f_{x_0}(y_0 + h) \neq f_{x_0}(y_0)$. В этом случае определена локальная степень $\gamma(f_{x_0}, y_0)$, равная степени $\gamma(O^y, f_{x_0}, u_0)$, где $O^y = O^y$ $(y_0)^y$ достаточно мала. Если f_{x_0} дифференцируемо в y_0 , а $J(f_{x_0}, y_0) \neq 0$, то, как известно, y_0 есть изолированная точка отображения f_{x_0} , и имеем $\gamma(f_{x_0}, y_0) = \operatorname{sign} J(f_{x_0}, y_0)$.

 \S 1. В этом параграфе G локально по y;f непрерывно в $\widetilde{G}.$

Теорема 1. Пусть $\overline{G}(x_0) \cap f_{x_0}^{-1} F^u \subseteq G(x_0)$. Тогда существует $O^x = O^x(x_0) \subseteq \pi_x G$ такая, что для всех $x \in O^x$ имеем:

 $1,1) \ \overline{G}(x) \cap f_x^{-1} F^u \subseteq G(x);$

1,2) для любого $u \in F^u$ определена степень $\gamma(G(x), f_x, u) = \gamma(G(x_0), f_{x_0}, u)$.

Следствие 1. Пусть $\overline{G}(x_0) \cap f_{x_0}^{-1} F^u \subseteq G(x_0)$, причем $\gamma(G(x_0), f_{x_0}, u) \neq 0$ для всех $u \in F^u$. Тогда существует $O^x = O^x(x_0)$ такая, что $F^u \subseteq f_x G(x)$ для всех $x \in O^x$.

Следствие 2. Пусть C^x связно, $C^x \subseteq \pi_x G$, причем $\overline{G}(x) \cap f_x^{-1} u_0 \subseteq G(x)$ для всех $x \in C^x$. Тогда $\gamma(G(x), f_x, u_0) = \text{const}$ для всех $x \in C^x$.

Следствие 3. Если $F^u \cap f_{x_0} \overline{G}(x_0) = \Lambda$, то существует $O^x = O^x(x_0) \subseteq \Xi_x G$ такая, что для всех $x \in O^x$, $u \in F^u$ определена степень $T(G(x), f_x, u) = 0$.

Теорема 2. Пусть $\overline{G}(x_0) \cap f_{x_0}^{-1} u_0 \subseteq G(x_0)$, $\gamma(G(x_0), f_{x_0}, u_0) \neq 0$. Тогда для всякой достаточно малой $O^u = O^u(u_0)$ найдется $O^z = O^u(u_0)$

 $=O^{z}([x_0,\overline{G}(x_0)\cap f_{x_0}^{-1}u_0])\subseteq G$ такая, что для всех $x\in\pi_xO^z$ имеем:

2,1) $f_x O^z(x) = O^u$; 2,2) $\overline{G}(x) \cap f_x^{-1} O^u = O^z$;

2,3) для любой $u \in O^u$ определена степень γ (O^z (x), f_x , u) = γ ($G(x_0)$, f_{x_0} , u_0). Замечание 1. Все результаты настоящего параграфа являются, насколько мне известно, существенно новыми даже в случае $X = R^p$ при p > 0. Для случая p = 0 (f есть отображение G, открытого в R^q_y , в R^q_u) аналогичные результаты были получены мною в (f, f). Отмечу, что на пространство f не налагается никаких ограничений, кроме выполнения четырех аксиом Куратовского; оно может даже не быть f0-пространством и не удовлетворять первой аксиоме счетности. Интересен также случай, когда f0 есть произвольное подмножество пространства f0, f0 множество, открытое в f1, f2, f3.

 \S 2. В этом параграфе y_0 есть изолированная точка отображения f_{x_0} ,

причем $\gamma(f_{x_0}, y_0) \neq 0$.

Теорема 3. Пусть дана $O^z = O^z(x_0, y_0)$. Тогда для всякой достаточно малой (связной) $O^u = O^u(u_0)$ найдется (связная по у) $O_1^z = O_1^z(x_0, y_0)$, содержащаяся в O^z и такая, что:

 $3,1) \widetilde{O}_1^z \subseteq G;$

 $(3,2) O_1^z$ локально ограничена по y;

3,3) $\overline{O}_1^z(x_0) \cap f_{x_0}^{-1} u_0 = \{y_0\};$

 $3,4) f_x O_1^z(x) = O^u \, \partial \Lambda g \, \Lambda \omega GOOO \, x \in \pi_x O_1^z;$

- 3,5) $\overline{O}_1^z(x) \cap f_x^{-1}O^u = O_1^z(x) (\overline{O}_1^z(x) \cap f_x^{-1}O^u = O_1^z(x)) \partial_x x$ любого $x \in \pi_x O_1^z$;
- 3,6) для любых $x \in \pi_x O_1^z$, $u \in O^u$ определена степень $\gamma(O_1^z(x), f_x, u) = \gamma(f_{x_0}, y_0);$

3,7) $\hat{f} \tilde{O}_1^z = [\pi_x O_1^z, O^u];$

- 3,8) $\hat{f}(\widetilde{O}_1^z \setminus O_1^z) = [\pi_x O_1^z, \overline{O}^u \setminus O^u] \quad (\hat{f}\widetilde{O}_1^z = [\pi_x O_1^z, \overline{O}^u]);$
- 3,9) если $x \in \pi_x O_1^z$, а f_x дифференцируемо на $O_1^z(x)$, то mes $\{y : y \in O_1^z(x), \text{ sign } J(f_x, y) = \text{sign } \gamma(f_{x_0}, y_0)\} > 0$, mes $f_x \{y : y \in O_1^z(x), \text{ sign } J(f_x, y) = \text{sign } \gamma(f_{x_0}, y_0)\} = \text{mes } O^u$.

Следствие 1. Отображение \hat{f} открыто в точке (x_0, y_0) . Замечание. Все результаты настоящего параграфа являются, насколько мне известно, существенно новыми даже в случае $X = R^p$ при p>0. Для случая p=0 (f есть отображение открытого в R^q_y множества G в R_u^q) аналогичные результаты были получены мною в $(^3,^4)$ при дополнительном предположении дифференцируемости f в G.

 \S 3. В этом параграфе отображение f_x дифференцируемо в $G\left(x\right)$ для

любого $x \in \pi_x G$.

Теорема 4. Каждое из множеств $\pi_x G^+$, $\pi_x G^-$ открыто в пространстве Х.

Теорема 5. Если $G^0 = \Lambda$, то каждое из множеств G^+ , G^- открыто в

пространстве Z.

Следствие 1. Пусть $G^0=\Lambda$, C- связное подмножество множества G. Тогда sign $J(f_x, y) = \text{const } \partial \Lambda A \text{ всех } (x, y) \in C$.

Следствие 2. Если $G^0 = \Lambda$, G = 0бласть, то sign $J(f_x, y) = \text{const}$

 ∂ ля всех $(x, y) \in G$.

Теорема 6. Пусть $O^z = O^z(x_0, y_0) \subseteq G \setminus G^0$. Тогда для всякой достаточно малой связной $O^u = O^u(u_0)$ найдется локально ограниченная по у и связная по у окрестность $O_1^z = O_1^z(x_0, y_0)$, содержащаяся в O^z и такая, что отображение φ , заданное на множестве $[\pi_x O_1^z, O_1^u]$ формулой

$$\varphi(x, u) = O_1^z(x) \cap f_x^{-1} u \quad ((x, u) \in [\pi_x O_1^z, O^u]),$$

есть однозначное непрерывное открытое отображение множества $[\pi_x O_1^z, O_1^u]$ в пространство R_y^q , и имеем:

(6,1) для любого $x \in \pi_x O_1^z$ отображение f_x есть дифференцируемое топологическое отображение $O_1^z(x)$ на O_1^u ;

6,2) для любого фиксированного $x \in \pi_x O_1^z$ отображение $\varphi_x(\varphi_x(u) = \varphi(x, u))$ есть дифференцируемое топологическое отображение O^u на $O_1^z(x)$, обратное к отображению f_x , рассматриваемому на $O_1^z(x)$;

6,3) для любого фиксированного $u \in O^u$ отображение $\varphi_u(\varphi_u(x) = \varphi(x, u))$ есть непрерывное отображение $\pi_x O_1^z$ в R_y^q , и имеем:

$$f(x, \varphi_u(x)) = u \quad (x \in \pi_x O_1^z),$$

т. е. Ф,, есть единственное непрерывное неявное отображение, определенное из уравнения

$$f(x, y) = u ((x, y) \in O_1^z);$$

(6,4) \hat{f} есть топологическое отображение O_1^z на $[\pi_x O_1^z, O_1^u]$;

6,5) $\varphi(x, u) = \pi_y(\hat{f}^{-1}(x, u)) \ \partial_{AB} \ \text{BCEX} \ (x, u) \in [\pi_x O_1^z O^u].$

Теорема 7. Пусть $q=1, O^z=O^z(x_0, y_0)$ такова, что для всякого $x \in \pi_x O_1^z$ множество $(O^z \cap G^b)(x)$ содержит не более одной точки. Пусть, далее, k — целое неотрицательное число такое, что функция f_x , дифференцируема 2k раз в некоторой окрестности точки уо и имеет конечную производную порядка 2k+1 в точке y_0 , причем

$$\frac{d^{l} f_{x_{0}}}{dy^{l}}(y_{0}) = 0 \quad (1 \leqslant l \leqslant 2k), \quad \frac{d^{2k+1} f_{x_{0}}}{dy^{2k+1}}(y_{0}) \neq 0.$$

Tогда для всякого достаточно малого интервала $O^u = O^u(u_0)$ найдется локально ограниченная по у и связная по у окрестность $O_1^z = O_1^z(x_0, y_0)$, содержащаяся в O^z и такая, что функция φ , заданная на множестве $\{\pi_x\,O_1^a,\,O^a\}$ формулой

 $\varphi(x, u) = O_1^z(x) \cap f_x^{-1} u \quad ((x, u) \in [\pi_x O_1^z, O^u]),$

осуществляет однозначное непрерывное открытое отсбражение множества $[\pi_x O_1^z, O^u]$ в прямую R_y^1 , причем имеют место утверждения [6,1)-6,5).

Tеорема 8. Пусть $G^0=\Lambda;\; X- x$ аусдорфово пространство, удов-

летворяющее первой аксиоме счетности. Тогда $k\left(\Phi^{z},f\right)<+\infty$.

Теорема 9. Пусть $G^0 = \Lambda$; X — метрическое пространство сосчетной базой, причем в X задана внешняя мера Каратеодори μ_X такая, что каждая точка $x \in X$ имеет окрестность конечной меры μ_X . Через μ_Y , μ_u обозначим q-мерные лебеговы меры соответственно в пространствах R_y^q , R_u^q . Пусть, далее, $\varphi(u)$ — комплексная функция, определенная на $f\Phi^z$ (почти всюду на $f\Phi^z$) и суммируемая на $f\Phi^z$. Пусть, наконец,

$$\inf_{(x, y) \in \Phi^z} |J(f_x, y)| = m > 0.$$
(1)

Тогда функция $\varphi(f(x,y))$ определена на Φ^z (почти всюду на Φ^z), суммируема на Φ^z , и имеем

$$\int_{\Phi^{z}} |\varphi(f(x, y))| d(\mu_{x} \times \mu_{y}) \leq \frac{2}{m} k(\Phi^{z}, f) \mu_{x}(\pi_{x}, \Phi^{z}) \int_{f\Phi^{z}} |\varphi(u)| d\mu_{u} < + \infty.$$

Если же $\operatorname{sign} J(f_x, y) = \operatorname{const} \partial \Lambda R$ всех $(x, y) \in \Phi^z$, то константу 2 в

правой части последнего неравенства заменит константа 1.

Замечание. Все результаты настоящего параграфа являются существенно новыми даже в случае $X=R^p$ при p>0. При p=0 (f есть отсбражение открытого в R^q_y множества G в R^q_u) результаты, аналогичные следствию 2 из теоремы 5 и теореме 6, были получены мною в (3). Частные случаи следствия 2 из теоремы 6 были получены Π . Д. Кудрявцевым в (5 , 6).

Теоремы 4, 5 и 7 являются существенно новыми и в случае, когда $X = R^p$, а f дифференцируемо по совокупности всех переменных x_1, \ldots, x_p ;

 y_1, \ldots, y_q .

Теоремы 8 и 9 существенно новы в случае $X=R^p$, μ_x-p -мерная лебегова мера и при любых предположениях относительно гладкости отображения f. При этом, если частные производные отображающих функций $\partial f_i / \partial y_j$ $(i, j=1,\ldots,q)$ непрерывны по совокупности переменных $x_1,\ldots,x_p;\ y_1,\ldots,y$, то условия $G^0=\Lambda$ и (1) в теоремах 8 и 9 отпадают. Достаточно требовать $\Phi^z \subseteq G \setminus G^0$.

Московский физико-технический институт

Поступило 27 II 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. М. Роднянский, ДАН, 91. № 5 (1953). ² А. М. Роднянский, Матем. сборн., 36 (78). ² (1955). ³ А. М. Роднянский, ДАН, 72, № 1 (1950). ⁴ А. М. Роднянский, Тр. Моск. авиацион. инст., в. 61, 59 (1956). ⁵ Л. Д. Кудрявцев, Матем. сборн., 32 (74), 3 (1953). ⁶ Л. Д. Кудрявцев, Усп. матем. наук, 9, 3 (61) (1954).

С. И. САВЕЛЬЕВ

ПОВЕРХНОСТИ С ПЛОСКИМИ ОБРАЗУЮЩИМИ, ВДОЛЬ КОТОРЫХ КАСАТЕЛЬНАЯ ПЛОСКОСТЬ ПОСТОЯННА

(Представлено академиком П. С. Александровым 5 III 1957)

1. Развертывающиеся поверхности трехмерного пространства можно двумя путями обобщить на N-мерное пространство. Свойства развертываться на плоскость или быть огибающей однопараметрического семейства плоскотей имеют место и в N-мерном пространстве для n-мерных поверхностей (n-1)-мерными плоскими образующими, вдоль которых касательная плоскость постоянна.

По свойству развертывающихся поверхностей трехмерного пространства остоять из прямолинейных образующих, вдоль которых касательная плокость постоянна, они обобщаются на более широкий класс n-мерных юверхностей с p-мерными $(n-1 \geqslant p \geqslant 1)$ плоскими образующими, вдоль которых касательная плоскость постоянна, в N-мерном пространстве. Ловерхности n измерений с p-мерными плоскими образующими, вдоль которых касательная плоскость постоянна, представляют большой интерес еще в связи с задачей изгибания многомерных поверхностей $\binom{1,2}{2}$.

Конические n-мерные поверхности, образованные p-мерными плоскостями, соединяющими неподвижную (p-1)-мерную плоскую вершину точками (n-p)-мерной направляющей поверхности общего вида, и конические n-мерные поверхности, образованные q-мерными плоскостями, соединяющими неподвижную (q-1)-мерную плоскую вершину с точками (n-q)-мерной поверхности с (p-q)-мерными плоскими образующими $(q=p-1,\ldots,1)$, вдоль которых касательная (n-q)-мерных поверхностей с p-мерными плоскими образующими, вдоль которых касательная плоскость постоянна, в N-мерном пространстве. Но большой интерес представляют лишь отличные от конических поверхности с плоскими образующими, вдоль которых касательная плоскость постоянна. Однако хорошо изученными из этих поверхностей являются только развертывающиеся (p=n-1) n-мерные поверхности (n-1)0 и изгибаемые гиперповерхности ранга (n-1)1 вевклидовом (n-1)2 вевклидовом (n-1)3 и изгибаемые гиперповерхности ранга (n-1)3 вевклидовом (n-1)3 и изгибаемые гиперповерхности ранга (n-1)3 вевклидовом (n-1)4 вевклидовом (n-1)5 вевклидовом (n-1)6 верхности (n-1)

2. Свойство поверхности иметь плоские образующие, вдоль которых касательная плоскость постоянна, посит проективный характер, и изучение таких поверхностей естественно проводить в проективном пространстве P_N . Присоединяем к каждой точке поверхности репер, состоящий из N+1 точек M_0 , M_1 ,..., M_N , не лежащих в одной гиперплоскости. Точка M_0 —

текущая точка поверхности. Точки M_1 , M_2 ,..., M_n репера располагаем в касательной плоскости к поверхности в точке M_0 , причем p из них: M_{n-p+1} ,.., M_n — в плоской образующей, проходящей через точку M_0 . Точки M_{n+1} ,..., M_N располагаем вие касательной плоскости в точке M_0 . Инфинитезимальное перемещение репера записывается в виде

$$dM_J = \omega_J^K M_K \quad (J, K = 0, 1, \ldots, N).$$

Поверхность определяется системой уравнений Пфаффа

$$\omega_{i}^{\hat{\alpha}} = \omega_{i}^{\hat{\alpha}} = 0 \quad (\beta, \gamma = 1, 2, \dots, n - p; i = n - p + 1, \dots, n;
\omega_{i}^{\beta} = a_{i\gamma}^{\beta} \omega^{\gamma}; \quad \omega_{\beta}^{\hat{\alpha}} = a_{\beta\gamma}^{\hat{\alpha}} \omega^{\gamma}; \quad \hat{\alpha} = n + 1, \dots, N),$$

где коэффициенты подчинены соотношениям

$$a_{\beta\gamma}^{\hat{\alpha}} = a_{\gamma\beta}^{\hat{\alpha}}; \quad a_{i\beta}^{\gamma} a_{\gamma\gamma}^{\hat{\alpha}} - a_{i\gamma}^{\gamma} a_{\beta\gamma}^{\hat{\alpha}} = 0 \quad (\beta, \gamma, \gamma = 1, 2, \ldots, n-p).$$

Размерность соприкасающихся плоскостей в точках n-мерной поверх q ности с p-мерными плоскими образующими, вдоль которых касательная плоскость постоянна, равна n+R, где R — число независимых векторов q

$$a_{\beta\gamma} = \{a_{\beta\gamma}^{n+1}, a_{\beta\gamma}^{n+2}, \ldots, a_{\beta\gamma}^{N}\}$$
 $(\beta, \gamma = 1, 2, \ldots, n-p)$

в параметрическом пространстве (N-n) измерений. Число n+R может иметь для различных поверхностей значения от n+1 дс

 $n + \frac{1}{2}(n-p)(n-p+1)$.

Размерность n+R соприкасающихся плоскостей и число n-p параметров, от которых зависит касательная плоскость, — наиболее существенные числовые параметры поверхности. Задавая эти параметры а priori, можем выделить узкие классы поверхностей, строение которых поддается испедованию. Так, для n+R>n+(n-p) имеем следующую теорему.

Теорема 1. Если соприкасающиеся плоскости в точках n-мерной поверхности с p-мерными (n-p>1) плоскими образующими, вдоль которых касательная плоскость постоянна, имеют размерность больше n+(n-p), то поверхность коническая c(p-1)-мерной плоской вершиной.

Следовательно, отличные от конических n-мерные поверхности с p-мерными плоскими образующими, вдоль которых касательная плоскость постоянна, имеют соприкасающиеся плоскости размерности, не превосходящей числа n+(n-p).

3. В случае, когда соприкасающиеся плоскости в точках поверхности имеют наименьшую размерность n+1, поверхность при n-p>1 является гиперповерхностью (n+1)-мерного проективного пространства P_{n+1} . Характеристическое свойство гиперповерхностей с плоскими образующими, вдоль которых касательная гиперплоскость постоянна, дается следующей теоремой.

T е о р е м а 2. Гиперповерхность в P_{n+1} с р-мерными плоскими образующими, вдоль которых касательная гиперплоскость постоянна, есть огибающая семейства гиперплоскостей, соответствующих при коррелятивном

преобразовании точкам (n-p)-мерной поверхности в P_{n+1} .

Класс гиперповерхностей с р-мерными плоскими образующими, вдоль которых касательная гиперплоскость постоянна, двойственен классу (п — p)-мерных поверхностей без плоских образующих с постоянной касательной плоскостью вдоль них в проективном пространстве п + 1 измерений.

4. Для n-мерных поверхностей с (n-2)-мерными плоскими образующими, вдоль которых касательная плоскость постоянна, размерность соприкасающихся плоскостей может иметь значения n+1, n+2 и n+3. Значение n+3 удовлетворяет условиям теоремы 1, значение n+1 характеризует рассмотренные уже гиперповерхности. Для n-мерных поверхностей с (n-2)-мерными образующими, соприкасающиеся плоскости которых имеют размерность n+2, имеем теорему 3.

Теорема 3. Все отличные от конических n-мерные поверхности c (n-2)-мерными плоскими образующими, вдоль которых касательная плоскость постоянна, имеющие соприкасающиеся плоскости размерности n+2,

подразделяются на следующие три вида:

а) однопараметрические семейства (n-1)-мерных конических поверхностей с $(n-2t_0-2)$ -мерными плоскими вершинами и $2t_0$ -мерными на-

гравляющими поверхностями, являющимися или развертывающимися пожрхностями или коническими $2t_0$ -мерными поверхностями с $(2t_0-2)$ -мерными вершинами, $t_0=1,\ 2,...,\ [^1/_2(n-1)];$

б) огибающие соприкасающихся порядка 1/2n плоскостей к двумерной погерхности, имеющей сопряженную сеть, или к двумерной поверхности, имеющей одно семейство асимптотических линий, в случае четного n;

в) огибающие соприкасающихся порядка 1/2(п — 1) плоскостей к трехнерному многообразию точек двухпараметрической конгруенции прямых гли к трехмерному многообразию точек совокупности касательных симптотическим линиям двумерной поверхности с одним семейством эсимптотических линий в случае нечетного п.

Таким образом, для n-p=2 имеем полную классификацию n-мерных поверхностей с (n-2)-мерными плоскими образующими, вдоль которых касательная плоскость постоянна.

В заключение выражаю благодарность С. П. Финикову, под руковод-

Высшее техническое училище им. Баумана

Поступило 5 III 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Е. Сагtаn, Bull. Soc. Math., **45**, 73 (1916). ² Н. Н. Яненко, Тр. Моск. матем. бщ., **3**,90, 149 (1954). ³ Е. Сагtаn, Bull. Soc. Math., **48**, 161 (1920).

MATEMATUKA

л. А. САХНОВИЧ

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЛЬТЕРРОВСКИХ ОПЕРАТОРОВ И ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ

(Представлено академиком М. В. Келдышем 28 II 1957)

При решении обратной задачи для дифференциального уравнения второго порядка

$$\frac{d^2y}{dx^2} - q(x)y + \lambda y = 0 \quad (0 \leqslant x \leqslant l)$$

В. А. Марченко (1) строит оператор преобразования, переводящий решение уравнения (1) в решение простейшего уравнения

$$\frac{d^2y}{dx^2} + \lambda y = 0 \quad [(0 \leqslant x \leqslant l). \tag{2}$$

Если перейти к функциям Грина при краевых условиях

$$y(0) = 0, \quad y'(0) = 0,$$

то дифференциальному оператору

$$l(y) = \frac{d^2y}{dx^2} - q(x) y$$

будет соответствовать интегральный оператор

$$Kf = \int_{0}^{x} f(\xi) G(x, \xi) d\xi \quad (0 \leqslant x \leqslant l), \tag{3}$$

где $G(x,x) \equiv 0$, $\frac{\partial}{\partial x} G(x,\xi)|_{\xi=x} = 1$.

Из результатов В. А. Марченко (1) легко вытекает, что оператор K линейно эквивалентен оператору повторного интегрирования

$$J^{2}f = \int_{0}^{x} f(\xi)(x - \xi) d\xi, \quad f(\xi) \in L^{2}[0, t].$$
 (4)

В настоящей статье мы находим достаточные условия, при которых вольтерровский оператор (не обязательно порожденный дифференциальным уравнением) линейно эквивалентен оператору повторного интегрирования (4). Полученные результаты используются при доказательстве теорем единственности для систем дифференциальных уравнений.

§ 1. Рассмотрим вольтерровский оператор

$$Kf = \int_{0}^{x} f(t) K(x, t) dt, \quad f(x) \in L^{2}[0, t].$$
 (5)

В дальнейшем будем полагать, что ядро $K\left(x,t
ight)$ удовлетворяет следующим условиям:

1) существуют ограниченные производные

$$\frac{\partial^{j+k}}{\partial x^{j}\partial t^{k}}K(x,t) \quad (j,k=0,1,2); \qquad \frac{d}{dx}\left[\frac{\partial^{2}}{\partial x^{2}}K(x,t)\Big|_{t=x}\right] \quad (x \gg t);$$

2) K(x, x) = 0;

3)
$$\left| \frac{\partial}{\partial x} K(x,t) \right|_{t=x} > 0$$
.

Без ограничения общности можно считать, что

$$\frac{\partial}{\partial x}K(x,t)\Big|_{t=x}\equiv 1.$$

T е о р е м а $\ 1$. Если ядро K(x,t) оператора K удовлетворяет приведенным выше условиям, то оператор K линейно эквивалентен оператору J^2 повторного интегрирования:

$$J^{2}f = \int_{0}^{x} f(t)(x-t) dt, \quad f(t) \in L^{2}[0, t].$$

Доказательство. Пусть $y(x,\lambda)=(I+\lambda^2K)^{-1}f$, тогда

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{d^2f}{dx^2} - \lambda^2 y - \lambda^2 \int_0^x y(t,\lambda) \frac{\partial^2}{\partial x^2} K(x,t) dt.$$
 (6)

Рассмотрим оператор

$$(I+H)f = f(x) + \int_{0}^{x} f(t) H(x,t) dt,$$

обратный по отношению к оператору

$$(I+K_2)f=f(x)+\int_0^x f(t)\frac{\partial^2}{\partial x^2}K(x,t)\,dt.$$

Имеет место равенство

$$\frac{d^{2}y}{dx^{2}} = r(x) - \int_{0}^{x} \frac{d^{2}y}{dt^{2}} H(x, t) dt - \lambda^{2}y,$$
 (7)

где $r(x) = (I+H)\frac{d^2f}{dx^2}$.

Из гладкости $\frac{\partial^2}{\partial x^2}\,K\,(x,\,t)$ вытекает гладкость $H\,(x,\,t)$, поэтому можем записать

$$\frac{d^{2}y}{dx^{2}} + \lambda^{2} y = -q(x) \frac{dy}{dx} + y(x, \lambda) p(x) -$$

$$- \int_{0}^{x} y(t, \lambda) \frac{\partial^{2}}{\partial t^{2}} H(x, t) dt + s(x),$$

где

$$q(x) = H(x, x), \quad \frac{\partial}{\partial t} H(x, t) \Big|_{t=x} = p(x),$$

$$s(x) = r(x) + \frac{\partial}{\partial x} \Big|_{x=0} H(x, 0) - y(0) \frac{\partial}{\partial t} H(x, t) \Big|_{t=0}.$$

Выберем f(x) в равенстве (6) так, чтобы $s(x) \equiv 0$, f(0) = 1, $\frac{df}{dx} = 0$; тогда

$$\frac{d^{2}y}{dx^{2}}+\lambda^{2}y=-q\left(x\right)\frac{dy}{dx}+y\left(x,\lambda\right)p\left(x\right)-\int_{0}^{x}y\left(t,\lambda\right)\frac{\partial^{2}}{\partial t^{2}}H\left(x,t\right)dt.$$

Положим $y = \exp\left[-\frac{1}{2}\int\limits_{0}^{x}q\left(s\right)ds\right]y_{1};$ получим

$$\frac{d^2y_1}{dx^2} + \lambda^2 y_1 = y_1(x) u(x) - \int_0^x y_1(t,\lambda) \exp\left[\frac{1}{2} \int_t^x q(s) ds\right] \frac{\partial^2}{\partial t^2} H(x,t) dt, \quad (8)$$

причем $u(x) = p(x) + \frac{1}{2}(q(x)^2 + q'(x)).$

В работе (1) строится оператор, переводящий решение уравнения (8), когда $\frac{\partial^2}{\partial t^2} H(x,t) \equiv 0$, в решение уравнения

$$\frac{d^2y_1}{dx^2} + \lambda^2 y_1 = 0. {9}$$

Повторяя почти дословно рассуждения В. А. Марченко, можно в общем случае построить оператор, переводящий решение уравнения (8) в решение уравнения (9), т. е. будет выполняться равенство:

$$y_1(x, \lambda) = \cos \lambda x + \int_0^x \cos \lambda t \cdot N(x, t) dt$$

где $|N(x,t)| \leqslant N (0 \leqslant t \leqslant x \leqslant l)$.

Тогда

$$y(x,\lambda) = V\cos\lambda x = \left[\cos\lambda x + \int_{0}^{x} \cos\lambda t \cdot N(x,t) dt\right] \exp\left[-\frac{1}{2} \int_{0}^{n} q(s) ds\right], \quad (10)$$

т. е.

$$(I + \lambda^2 K)^{-1} f = V (I + \lambda^2 J^2)^{-1} \cdot 1.$$
 (11)

Разложив обе части равенства (11) в ряд по λ и приняв соответствующие коэффициенты, нетрудно убедиться в справедливости соотношения

$$K = VJ^2V^{-1}.$$

Теорема 1 доказана.

Замечание. Теорема 1 остается справедливой, если оператор K(1) задан в пространстве $L_m^2[0,l]^*$ и K(x,t) является матрицей-функцией. В этом случае вместо условия 3) следует считать $\frac{\partial}{\partial x}K(x,t)\Big|_{t=x}\equiv I$, а оператор L^2 задачиции также в L^2 10. L1

оператор J^2 заданным также в $L_m^2[0,t]$. Отметим, что оператор (5) имеет систему вложенных друг в друга инвариантных подпространств H_α , где H_α состоит из всех вектор-функций, обращающихся в нуль на интервале $[0,\alpha]$ ($\alpha>0$). Естественно возникает вопрос: существуют ли у оператора (5) другие инвариантные подпространства, отличные от H_α .

подпространства, отличные от H_{α} .

$$(f,g) = \sum_{i=1}^{m} \int_{0}^{t} f_{i}(x) \overline{g_{i}(x)} dx.$$

^{*} Под пространством $L_m^2[0,l]$ будем понимать пространство вектор-функций $f(x)=|f_1(x),\ f_2(x),\ \dots,\ f_m(x)|$ со скалярным произведением

Из теоремы Титчмарша (²), относящейся к интегральным уравнениям вида

$$\int_{0}^{x} K(x-y) f(y) dy = 0, \quad f(y) \in L^{2}[0, t],$$

легко вытекает, что J^2 не имеет инвариантных подпространств, отличных от H_{α} . Из теоремы 1 следует тогда, что оператор K|1| также не

имеет инвариантных подпространств, отличных от H_{α} .

Следствие. Функция f(x) является порождающей для оператора K|1| в том и только том случае, если при любом α ($\alpha>0$) в сегменте $[0,\alpha]$ существует множество точек положительной меры, на котором $f(x) \neq 0$.

§ 2. Рассмотрим систему дифференциальных уравнений

$$\frac{dW}{dx} = i\lambda W \beta^2(x) J, \quad W(0,\lambda) \equiv I \quad (0 \leqslant x \leqslant l), \tag{12}$$

где $\beta^2(x)$ — эрмитово-неотрицательная матрица конечного или бесконечного порядка $r;\ J$ — диагональная матрица, на диагонали которой стоят либо +1, либо -1.

Будем полагать, что rang $\beta^2(x)\equiv 1$; тогда матрицы $\beta(x)$ и $\beta^2(x)J$

представляются в виде

$$\beta(x) = \| \varphi_{i}(x) \varphi_{j}(x) \|_{ij=1}^{r} ,$$

$$\beta^{2}(x)J = \sum_{k=1}^{r} | \varphi_{k}(x) |^{2} \cdot \| \varphi_{i}(x) \varphi_{j}(x) \varepsilon_{j} \|_{i,j=1}^{r} ,$$
(13)

где $\epsilon_i = \pm 1$.

Пусть $\beta^2(x)J$ обладает следующими свойствами:

1)
$$\sum_{j=1}^{r} |\varphi_{j}(x)|^{2} \leqslant M \ (0 \leqslant x \leqslant l);$$

2) ядро $K(x,t)=i\sum_{j=1}^r \varphi_j(x)\overline{\varphi_j(t)}\,\varepsilon_j$ удовлетворяет условиям теоремы 1.

Из работы М. С. Лившица (3) следует, что система (12) является сопутствующей для оператора

$$Kf = \int_{0}^{x} f(t) K(x, t) dt$$

и матрица $W(l, 1/\lambda)$ совпадает с характеристической матрицей-функцией оператора K, т. е. матрицей $W(l, 1/\lambda)$ оператор K характеризуется с точностью до унитарной эквивалентности. Пользуясь этим обстоятельством и теоремой 1, мы доказали следующее предложение:

Теорема 2. Если $\beta^2(x)$ Ј представляется в виде (13) и удовлетворяет условиям 1), 2), то матрицей $W(l,\lambda)$ система дифференциальных уравне-

ний определяется однозначно.

В частном случае (r=2) отсюда получаются известные результаты (1) о единственности решения обратной задачи для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка на конечном интервале.

Одесский педагогический институт им. К. Д. Ушинского

Поступило 26 II 1957

ШИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. А. Марченко, Тр. Моск. матем. общ., **1**, 327 (1952). ² Е. Тичмарш, Введение в теорию интеграла Фурье, 1948. ³ М. С. Лившиц, Матем. сборн., **34** (76), **1**, 145 (1954)

C. A. TEPCEHOB

ОБ ОДНОМ УРАВНЕНИИ ЭЛЛИПТИЧЕСКОГО ТИПА, ВЫРОЖДАЮЩЕМСЯ НА ГРАНИЦЕ ОБЛАСТИ

(Представлено академиком М. А. Лаврентьевым 8 III 1957)

Рассмотрим уравнение

$$L(u) = Ju_{yy} + u_{xx} + au_y + bu_x + cu = 0,$$
 (1)

где a(x, y), b(x, y), c(x, y) — аналитические функции независимых переменных x и y в любой конечной части полуплоскости $y \ge 0$, причем $c(x, y) \le 0$. В полуплоскости y>0 уравнение (1) эллиптического типа, оно выро-

ждается при y=0.

Пусть D — область, ограниченная отрезком AB оси Ox и гладкой открытой дугой Γ , выходящей из точек A и B и лежащей в полуплоскости

Известно (1), что в зависимости от того, $\alpha(x, 0) < 1$ или $\alpha(x, 0) > 1$ на АВ, в классе ограниченных функций однозначно резрешимы, соответственно. или задача Дирихле — нахождение решения уравнения (1) по непрерывным данным на $\Gamma + AB$ — или так называемая задача E — нахождение решения уравнения (1) по непрерывным данным на Г.

Мы ниже даем в некотором смысле конструктивную характеристику решений уравнения (1) вблизи границы вырождения типа и попытаемся исследовать граничные задачи в постановке, предложенной А. В. Бицадзе (2).

1. Рассмотрим функцию

$$\omega(x,y) = \int_{y}^{1} \exp\left[\int_{t}^{1} a(x,r) r^{-1} dr\right] dt + C_{0}.$$

Постоянную C_0 выберем так, чтобы $\omega > 0$ в замкнутой области \overline{D} . Функция $\omega(x,y)$ является аналитической функцией для конечных значений x и y > 0.

Интегрированием по частям легко показать, что для y < 1

$$\omega(x, y) = \psi(x, y) \exp\left[\int_{y}^{1} a_{1}(x, r) dr\right] (1 + g(x, y)), \tag{2}$$

где

$$a_1(x, y) = \frac{a(x, y) - a_0(x)}{y}, \quad a_0(x) = a(x, 0);$$

$$\psi\left(x,y\right) = \begin{cases} \frac{y^{1-a_{\mathfrak{o}}(x)}-1}{a_{\mathfrak{o}}\left(x\right)-1} \;, & \text{если } a_{\mathfrak{o}}\left(x\right) \neq 1, \\ -\log y, & \text{если } a_{\mathfrak{o}}\left(x\right) = 1; \end{cases}$$

$$g(x,y) = \frac{C_0}{\psi(x,y)} \exp\left[-\int_y^1 a_1(x,r) dr\right] - \frac{1}{\psi(x,y)} \int_y^1 \psi(x,t) a_1(x,t) \exp\left[-\int_y^1 a_1(x,r) dr\right] dt > -1,$$

причем

$$g(x,y) = \frac{1}{\psi(x,y)} \int_{y}^{1} \psi(x,t) \, dt \cdot O(1). \tag{3}$$

Из (2) и (3) видно, что $\omega(x,y)$ имеет особенности в тех точках отрезка AB, где $a_0(x) \gg 1$.

 $T \in O p \in M$ а 1. Для любой заданной на $\Gamma + AB$ непрерывной функции f(x,y) существует единственное дважды непрерывно дифференцируемое решение u(x,y) уравнения (1), удовлетворяющее условию

$$\lim_{(x, y) \to Q} \frac{\sqrt[p]{u(x, y)}}{\omega(x, y)} = f, \quad Q \in \Gamma + AB.$$

Для доказательства сначала рассмотрим функцию

$$W(x,y) = \omega(x,y) \left(1 + \left(\log \frac{R}{y}\right)^{-\alpha}\right) + N - (x+\delta)^m,$$

где $0<\alpha<1$; N и m — положительные числа; $x+\delta>1$ и R>y в \overline{D} . Непосредственным вычислением можно показать, что

$$L(W) = \alpha \omega y^{-1} \left(\log \frac{R}{y} \right)^{-\alpha - 2} \left[\alpha + 1 + \left(a_0(x) - 1 + 2y \frac{\omega_y}{\omega} \right) \log \frac{R}{y} + o(\sqrt{y}) \right] - m(x + \delta)^{m-2} \left[m - 1 + b(x + \delta) \right] + cW.$$
(4)

Для получения равенства (4) нужно использовать:

$$\frac{\omega_x}{\omega} = O(|\log y|), \quad \frac{\omega_{xx}}{\omega} = O(|\log y|^2), \quad y\omega_{yy} + a\omega_y = 0.$$
 (5)

На основании (2) и (3) для y < 1 имеем

$$a_2(x, y) = a_0(x) - 1 + 2y \frac{\omega_y}{\omega} =$$

$$= a_0(x) - 1 - 2 \frac{y^{1 - a_0(x)}}{\psi(x, y)} + \frac{y^{1 - a_0(x)}}{\psi^2(x, y)} \int_{y}^{1} \psi(x, t) dt \cdot O(1).$$
 (6)

Легко показать, что для малых значений y

$$a_0(x) - 1 - 2 \frac{y^{1 - a_0(x)}}{\psi(x, y)} \leqslant \frac{2}{\log y}$$
 (7)

В силу (6) и (7) для малых y будем иметь

$$\alpha + 1 + a_2(x, y) \log \frac{R}{y} + o(\sqrt{y}) < 0.$$
 (8)

На основании (8) и (4) m и N можем подобрать столь большими, чтобы W>0 и $L\left(W\right)<0$ в D. Теперь докажем единственность. Пусть $u\left(x,y\right)$ — решение уравнения (1), удовлетворяющее условию

$$\lim_{(x, y) \to Q} \frac{u(x, y)}{\omega(x, y)} = 0, \quad Q \in \Gamma + AB.$$

Заметим, что если некоторая функция v(x, y) удовлетворяет в D условию L (v) < 0, то она не может иметь внутри D отрицательного минимума v(x, y)

Рассмотрим функцию $\varepsilon W + u$, где $\varepsilon > 0$ — произвольное число. Легкс

видеть, что при любом $\epsilon > 0L (\epsilon W + u) < 0$ в D.

Так как $\epsilon W + u > 0$ на $\Gamma + AB$, то $\epsilon W + u > 0$ в D. Аналогичным образом можно показать, что $\epsilon W - u > 0$ в D. Из неравенств $\epsilon W + u > 0$ в EW - u > 0 в EW

Докажем существование. Непосредственной проверкой легко убедиться,

что если v(x, y) является решением уравнения

$$L_1(v) = yv_{yy} + v_{xx} + \left(a + 2y \frac{w_y}{w}\right)v_y + \left(b + 2 \frac{w_x}{w}\right)v_x + \frac{L(w)}{w}v = 0, \quad (9)$$

удовлетворяющим граничному условию

$$v = \frac{\omega f}{W} = \varphi$$
 на $\Gamma + AB$, (10)

то $u = \varepsilon W v$ будет решением нашей задачи.

Очевидно, что φ является непрерывной функцией на $\Gamma + AB$. Следуя (1), легко показать, что существует ограниченное решение уравнения (9),

которое удовлетворяет граничному условию (10).

Как известно (1), для удовлетворения граничных условий достаточно в каждой точке $\Gamma+AB$ построить так называемый барьер. Очевидно, в точках Γ существуют барьеры, а в точках отрезка AB за барьер можно взять функцию

$$F(x, y) = (-\log y)^{-\sigma} + (x - x_0)^2, \quad 0 < \sigma < \alpha.$$

2. Обозначим через G множество тех точек отрезка AB, где $\lim \omega \left(x,\,y \right) = \infty$, и пусть $G_0 = \Gamma + AB - G$.

Теорема 2. Если u(x, y) является дважды непрерывно дифференцируемым решением уравнения (1) в D и его граничные значения непрерывны на замкнутом множестве \overline{G}_0 , а на G

$$\lim_{v\to 0}\frac{u}{\omega}=0,$$

то такое решение ограничено в \overline{D} , и оно единственным образом определяется заданием непрерывных данных на Γ и на тех кусках отрезка AB, где a(x,0)<1.

Докажем ограниченность. Рассмотрим функцию

$$\Phi = \varepsilon W + M - (x - \delta)^p + u.$$

Легко видеть, что выбором M и p для любого $\epsilon>0$ можно добиться того, чтобы было $\Phi>0$ на $\Gamma+AB$ и $L\left(\Phi\right)<0$ в D, откуда следует, что $\Phi>0$ в D, т. е.

$$\varepsilon W + M - (x+\delta)^p + u > 0.$$

Аналогично можно получить

$$\varepsilon W + M - (x + \delta)^p - u > 0.$$

Из этих двух неравенств, в силу произвольности $\epsilon > 0$, следует, что u ограничено в \overline{D} . Из ограниченности u, на основании (1), следует существование решения уравнения (1), которое принимает заданные значения на Γ и на тех кусках отрезка AB, где a(x, 0) < 1.

Единственность такого решения доказывается аналогично доказательству теоремы 1.

Теоремы 1 и 2 остаются в силе и для уравнения в *п*-мерном про-

странстве

$$x_n \frac{\partial^2 u}{\partial x_n^2} + \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\partial^2 u}{\partial x_i^2} + \sum_{i=1}^n a_i (x_1, \ldots, x_n) \frac{\partial u}{\partial x_i} + c (x_1, \ldots, x_n) u = 0, \quad c \leqslant 0,$$

для конечной области D, находящейся в полупространстве $x_n > 0$ и опирающейся на гиперплоскость $x_n = 0$; a_i и c— аналитические функции для конечных значений $x_1, x_2, \ldots, x_{n-1}, x_n \geqslant 0$.

Тбилисский математический институт им. А. М. Размадзе Академии наук ГрузССР Поступило 4 III 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. В. Келдыш, ДАН, 77, № 2 (1951). ² А. В. Бицадзе, Тр. 3-го Всесоюзн. матем. съезда, 3 (1957) в печати.

в. А. Топоногов

СВОЙСТВО ВЫПУКЛОСТИ РИМАНОВЫХ ПРОСТРАНСТВ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ КРИВИЗНЫ

(Представлено академиком П. С. Александровым 5 III 1957)

Для римановых пространств R^n положительной (отрицательной) кривизны известно следующее свойство: углы всякого достаточно малого треугольника из кратчайших не меньше (не больше) соответствующих углов плоского треугольника со сторонами той же длины (см., например, (3), стр. 209). А. Д. Александров доказал, что то же утверждение верно для произвольных треугольников в двумерных многообразиях, без предположений гладкости (1). В n-мерном случае соответствующий результат «в целом» для R^n отрицательной кривизны доказал Э. Картан (3). Г. Буземан обобщил результаты Картана на так называемые G-пространства отрицательной кривизны (2). В настоящей статье доказывается следующая теорема:

T е о р е м а. Пусть R^n — два жды непрерывно дифференцируемое риманово многообразие * полной метрикой неотрицательной кривизны. Тогда каждый треугольник, составленный из кратчайших на R_n , имеет углы не меньшие, чем соответствующие углы плоского треугольника со сторонами

той же длины.

Теорема доказывается в равносильной форме «условия выпуклости» А. Д. Александрова ((1), стр. 109).

Предположим сначала, что R^n имеет аналитическую метрику строго положительной кривизны. Будем обозначать через (ABC)' плоский треугольник со сторонами, равными сторонам треугольника ABC, образо-

ванного кратчайшими на R^n .

Лемма 1. Пусть даны кратчайшие AB_0 , AB_n ($n=1,2,\ldots$) и B_0C , $B_n \in B_0C$, $B_n \neq B_0$. Если AB_n сходятся к AB_0 и B_0 не является точкой, сопряженной A на AB_0 , то существует такое N, что при $n \geqslant N$ углы AB_0B_n и AB_nB_0 не меньше соответствующих углов треугольника

 $(AB_0B)'$.

Доказательство. Введем на AB_0 параметр t ($0 \le t \le 1$), пропорциональный длине: Y = Y(t), A = Y(1). Пусть ξ^i (0) — единичный касательный вектор к B_0C в точке B_0 ; ξ^i (t) — вектор, полученный из ξ^i (0) параллельным перенесением вдоль B_0A . Проводя через каждую точку Y(t) геодезическую в направлении ξ^i (t), получим поверхность Γ . Нетрудно подсчитать, что кривизна Γ в точках AB_0 равна кривизне R^n в двумерном направлении, касательном Γ ; поэтому достаточно узкая полоска $\Gamma_0 \subset \Gamma$ вокруг AB_0 имеет положительную кривизну. Можно доказать, что, начиная с некоторого t, на t0 существуют кратчайшие t0 жабы, сходящиеся к t0. Согласно теореме t0. Д. Александрова для двумерного случая, угол t0 треугольника t0 треугольника (t0 жабы t0 жабы t0 треугольника (t0 жабы t0 жабы t0 треугольника (t0 жабы t0 жабы t0 жабы t0 треугольника (t0 жабы t0 жабы t0 жабы t0 треугольника (t0 жабы t0 жабы t

Лемма 2. Пусть даны кратчайшие AB, CX_n , CB, $C \in AB$, $X_n \in AB$, $X_n \neq B$. Обозначим угол $AX_n C$ через ξ_n , угол между AB и BC через α . Если $X_n \rightarrow B$, то существует $\lim \xi_n = \overline{\alpha}$ и $\overline{\alpha} \leqslant \alpha$.

Доказательство. Очевидно, достаточно доказать, что если кратнайшие CX_n сходятся к кратчайшей \overline{CB} , то $\overline{\alpha} \leqslant \alpha$. Допустим, что $\epsilon > \alpha$. Тогда, начиная с некоторого n, на CX_n найдется такая точка D_n , что $D_n \rightarrow B$ и угол между кратчайшими $D_n B$ и BA равен α . Можно ограничиться случаем, когда $\alpha \neq 0$, $\alpha \neq \pi$. Возьмем на BC точку D_n так, чтобы $D_n B = \overline{D}_n B$; легко видеть, что $\overline{D}_n X_n = D_n X_n + o(a_n)$, где $a_n = D_n B$. Сравнивая длины $CD_n B$ и CB, соответственно CX_n и $CD_n X_n$, получаем $CD_n < C\overline{D}_n < CD_n + o(a_n)$, откуда $C\overline{D}_n = CD_n + o(a_n)$. Возьмем на $C\overline{D}_n$ такую точку E_n , что $\overline{D}_nE_n=\overline{D}_nB$. Нетрудно доказать, что $E_n B = 2 \overline{D}_n B \sin \frac{\Psi_n}{2} + o(a_n)$, где Ψ_n — угол между $C \overline{D}_n$ и $\overline{D}_n B$. $CE_nB = C\overline{D}_n + \overline{D}_nB - 2\overline{D}_nB + E_nB = CD_n + D_nB + 2\overline{D}_nB\left(1 - \sin\frac{\psi_n}{2}\right) + CD_nB$ $+o(a_n)=CB-2D_nB\left(1-\sin\frac{\psi_n}{2}\right)+o(a_n)$. Τακ κακ $\lim_{n\to\infty}\psi_n=\pi-(\overline{\alpha}-\alpha)<\pi$, то при достаточно больших n $CE_nB < CB$; но это невозможно, посколь-

ку *CB* — кратчайшая.

Доказательство теоремы можно теперь провести по плану доказательств А. Д. Александрова ((¹), стр. 100—103). Пусть *OP* и *OQ* — кратчайшие; Y — фиксированная внутренняя точка OP; X — переменная точка OQ; $OX = x; OY = y; z = \rho(x, y); \gamma(x, y) — угол при O'треугольника <math>(OXY)'; \alpha(x) = y$ гол между любой кратчайшей YX и XO. Достаточно доказать, что $\gamma(x, y)$ — невозрастающая функция от x. Пользуясь аналитичностью метрики R^n , можно показать, что сколь угодно малым сдвигом OQ можно перевести в кратчайшую OQ, обладающую следующим свойством: на OQ существует лишь конечное множество M точек X, сопряженных Y на какой-либо из кратчайших YX. Будем считать, что OQ уже обладает этим свойством.

Доказываются одновременно два утверждения: 1. $\gamma(x, y)$ — невозрастающая функция от x.

2. $\alpha(x)$ не меньше, чем соответствующий угол треугольника (OXY)',

какова бы ни была кратчайшая XY.

В силу леммы 1 утверждения 1 и 2 справедливы для достаточно малых x. Пусть x_0 — верхняя грань тех x, для которых 1 и 2 верны; требуется доказать, что $x_0 = OQ$. Пусть, напротив, $x_0 < OQ$. При $X \rightarrow X_0$, $x < x_0$ предположения леммы 2 выполнены; следовательно, 1 и 2 справедливы и для $X_{\mathbf{0}}$. Если предположить, что X_0 $\in M$, то при $X \to X_0$, $x > x_0$ выполнены условия леммы 1; рассматривая треугольники OYX_0 и YX_0X_1 $(x_1 > x_0)$ и применяя «лемму о выпуклых четырехугольниках» ((1), стр. 100), получим, что 1 и 2 верны и для X_1 , что невозможно. Значит, $X_0 \in M$. Возьмем теперь любое такое $x_1>x_0$, что $(X_0X]_1\cap M=0$. Применяя предыдущие соображения к кратчайшим X_1Y , X_1X_0 (вместо OP, OQ), убеждаемся, что 1 и 2 справедливы для всех $X\in X_1X_0$, включая X_0 . Пользуясь снова леммой о выпуклых четырехугольниках, легко видеть, что 1 и 2 справедливы и для $X_{\mathbf{i}}$, что противоречит определению x_0 . Итак, $x_0 = OQ$, что и требовалось

Аппроксимируя дважды непрерывно дифференцируемую метрику строго положительной кривизны аналитической метрикой, легко снять требование

аналитичности метрики.

Наконец, заменяя плоские треугольники сравнения треугольниками плоскости Лобачевского (ср. (1), стр. 345), можно распространить теорему на случай неотрицательной кривизны. Теорема обобщается также на пространства, кривизна которых ограничена снизу. Отметим еще, что предельный переход позволяет перенести теорему на любые полные выпуклы поверхности в n-мерном евклидовом пространстве. Отсюда вытекает:

 \vec{T} е о р е м a. $\vec{H}a$ (n-1)-мерной полной выпуклой поверхности (без прес положений гладкости) в n-мерном евклидовом пространстве кратчайша однозначно определяется сколь угодно малой своей дугой.

Эта теорема является *п*-мерным обобщением «теоремы о неналегании краз

чайших» А. Д. Александрова ((1), стр. 109).

В заключение выражаю глубокую благодарность А. И. Фету за пост: новку задачи и постоянную помощь в работе.

Новосибирский электротехнический институт связи

Поступило 27 II 1957

ШИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

 1 А. Д. Александров, Внутренняя геометрия выпуклых поверхностей, М. — Л 1948. 2 Н. Визе mann, Acta Math., 80, 259 (1948). 3 Э. Картан, Геометрия римановых пространств, М.—Л., 1936.

ГИДРОМЕХАНИКА

В. В. КАЗАКЕВИЧ

О ПОМПАЖЕ В КОМПРЕССОРАХ

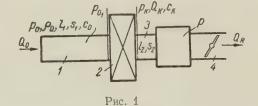
(Представлено академиком Л. И. Седовым 15 II 1957)

1. Изучение причин и характера автоколебаний расхода и давления воздуха в системах, содержащих вентиляторы и компрессоры, представляет значительный теоретический и практический интерес. Исследованию вопросов возникновения помпажных колебаний, определения их частот и интенсивности и влияния различных факторов на их характер посвящен ряд теоретических и экспериментальных работ (1-6).

До работы (3) — чисто экспериментальной — считалось, что помпаж должен всегда возникать в тех случаях, когда точка равновесного режима находится на восходящем участке характеристики. В работе (4) была сделана

попытка теоретически исследовать явление в рамках линейной теории. Однако по вычислениям самих авторов работы неточность полученных формул привела к расхождению результатов расчета с экспериментальными в одном случае в 40, в другом в 150 раз.

Как в указанных, так и в иных работах отсутствует теоретическое



раоотах отсутствует теорегическое объяснение известных из практики случаев гистерезисного характера помпанажа; нет также объяснения ряда других характерных особенностей помпанажа;

жа и не рассматривается влияние внешних условий.

В работе автора (6) излагается теория помпажа, учитывающая нелинейные особенности явления. Разработанная теория позволяет объяснить основные явления, происходящие при помпаже, указать причины различий в характере помпажных колебаний и оценить влияние различных факторов на область и характер помпажа. Теория позволяет предсказывать новые явления. В ней, в частности, показано, что помпаж может происходить и на режимах, соответствующих спадающим ветвям характеристики компрессора, которые до настоящей работы считались устойчивыми.

2. В настоящей заметке будет рассмотрен вопрос о характере возбужде-

ния помпажных колебаний и о способе их подавления.

Рассмотрим систему, содержащую вентилятор 2 (см. рис. 1), всасывающий трубопровод 1 и нагнетательный трубопровод 3, при выходе из кото-

рого находится переменное сопротивление в виде дросселя 4.

Обозначим: p_0 —абсолютное давление, ρ_0 —плотность, c_0 —скорость звука, Q_0 — объемный расход во всасывающем трубопроводе. Соответствующие величины в напорном трубопроводе обозначим через p_h , ρ_h , c_h . Пусть характеристика вентилятора дается зависимостью

$$\frac{p_k}{p_{01}} = \pi_1 (Q_0), \tag{1}$$

где p_{01} — статическое давление перед вентилятором. Типичная характеристика изображена на рис. 2, 1.

$$p_{\pi} - p_0 = \varphi \left(Q_R \right) \tag{2}$$

связывает величину избыточного давления p перед дросселем с объемным расходом Q_R через дроссель. В нашем случае ее можно считать квадратной параболой (рис. 2, 2).

Сделаем следующие допущения: 1) сложная распределенная акустическая система может быть заменена системой с одной степенью свобо-

ды; 2) изменения давления при колебательном режиме невелики.

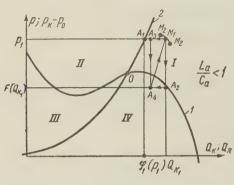


Рис. 2

Тогда, как следует из (6), движения в системе могут быть описаны системой двух дифференциальных уравнений 1-го порядка:

$$\frac{dQ_0}{dt} = \frac{1}{L_2} [F(Q_0) - p], \qquad (3)$$

$$\frac{dp}{dt} = \frac{1}{C_a} [Q_0 - \varphi_1(p)], \quad (4)$$

где $\varphi_1(p)$ — обращение функции $\varphi(Q_R)$; C_a — акустическая гибкость системы; L_a — акустическая масса; $F(Q_0) = \pi_1(Q_0) - p_0$.

Исключая время из уравнения (3) и (4), получаем дифференциальное уравнение интегральных кривых:

$$\frac{dp}{dQ_0} = \frac{Q_0 - \varphi_1(p)}{F(Q_0) - p} \frac{L_a}{C_a}.$$
 (5)

Пусть Q_0^* , p^* — значения, соответствующие равновесному режиму и являющиеся корнями системы уравнений

$$Q_0 - \varphi_1(p) = 0, \quad F(P_0) - p = 0.$$

Перенесем начало координат в особую точку Q_0^* , p^* . Полагая $Q_0 = Q_0^* + x$, $p = p^* + y$, получим в новых координатах

$$\frac{dx}{dt} = \frac{1}{L_2} \left[F'x + \frac{F''}{2} x^2 + \frac{F'''}{6} x^3 + \dots - y \right], \tag{6a}$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{C_a} \left[x - \varphi_1' y - \frac{1}{2} \varphi_1'' y^2 - \frac{1}{6} \varphi_1''' y^3 - \dots \right]. \tag{66}$$

Здесь производные $F', F'', F''', \varphi_1'', \varphi_1'', \varphi_1''', \dots$ взяты для значений Q_0^*, p^* . Уравнения 1-го приближения будут иметь вид

$$\frac{dx}{dt} = \frac{F'}{L_a} x - \frac{1}{L_a} y, \quad \frac{dy}{dt} = \frac{1}{C_a} x - \frac{\varphi_1'}{C_a} y.$$

Тогда условие статической устойчивости режима будет

$$k > F'(Q_0^*), \tag{7a}$$

а условие самовозбуждения

$$\frac{dF\left(Q_{0}^{*}\right)}{dQ_{0}^{*}} > \frac{L_{a}}{kC_{a}},\tag{76}$$

где $k=1/\phi_1'$ — тангенс угла наклона касательной к характеристике сети 678

в рабочей точке; $dF\left(Q_{0}
ight)/dQ_{0}^{*}$ — тангенс угла наклона касательной к карактеристике компрессора в рабочей точке.

Приближенно можно считать

$$L_{a} = \rho_{0} \left(\frac{l_{1}\pi}{s_{1}} + \frac{0.5l_{2}}{s_{2}} \right), \quad C_{a} = \frac{0.5l_{2}s_{2}}{\rho_{0}c_{k}^{2}}, \quad c_{k}^{2} = c_{0}^{2}F(Q_{0}),$$

тде l_1 , s_1 , l_2 , s_2 — длина и площадь поперечного сечения соответственновсасывающего и напорного трубопроводов, ү — показатель адиабаты.

Угловая частота о в момент возникновения колебаний определяется

выражением $\omega = [(k - F'(Q_0^*)) / kC_aL_a]^{1/2}$.

3. Перейдем к рассмотрению вопроса о характере возбуждения помпажных колебаний. В этом случае нельзя ограничиться рассмотрением уравнений первого приближения, а необходимо учитывать нелинейные слагаемые в разложении функций F и φ_1 .

Согласно Ляпунову (8,9) жесткий или мягкий характер возбуждения определяется знаком некоторой величины д. В нашем случае этот ляпу-

новский коэффициент будет иметь вид

$$g = \frac{\pi L_{a}^{2} C_{a} \sqrt{L_{a} C_{a}}}{8 \left(1 - F' \varphi'_{1}\right) \sqrt{1 - F' \varphi'_{1}}} \left\{ -\frac{F'}{L_{a} C_{a}^{3}} \varphi''_{1}^{2} + \frac{F' F''^{2}}{L_{a}^{4}} - \left(\frac{F'^{2}}{L_{a}^{2}} - \frac{1}{L_{a} C_{a}} \right) \left[-\frac{\varphi'''_{1}}{C_{a}^{2}} + \frac{F'''}{L_{a}^{2}} \right] \right\}$$
(8)

и при условии, что $-\left(\frac{F'^2}{L_a}-\frac{1}{L_aC_a}\right)>0$. Согласно Ляпунову, если g>0,

то возбуждение жесткое, если g < 0, то возбуждение мягкое.

Предположим вначале, что характеристика сети линейна в окрестностях рабочей точки характеристики; тогда $\phi_1^{\prime\prime}=\phi_1^{\prime\prime\prime}=0$. Если рабочая точка находится вблизи максимума характеристики компрессора (рис. 2, 2), то $F'\cong 0$, и знак коэффициента g совпадает со знаком $F^{'''}(Q_0^*)$. Если

$$F''' < 0, \tag{9a}$$

то возбуждение мягкое, если же

$$F''' > 0, \tag{96}$$

то возбуждение жесткое.

При переходе на восходящий участок характеристики сказывается влияние члена $F'F''^2$. Так как F'>0, то при удалении от точки максимума характеристики влево, для того чтобы возбуждение было жестким, необходимо удовлетворить условию

$$F'''(Q_0^*) > \frac{F'F''^2C_a}{F'^2C_a - L_a}$$
 (9B):

Если характеристика сети не прямолинейна в окрестностях рабочей точки, то необходимо учитывать члены с φ_1'' и φ_1''' . При квадратичной зависимости между давлением и расходом $p=\alpha Q^2$ будем иметь $\varphi_1'' = -\frac{1}{4p} \sqrt{p\alpha}, \ \varphi_1''' = \frac{3}{8p^2} \sqrt{\alpha p}.$

Полученные результаты показывают, что помпаж возможен и на нисходящей ветви характеристики в окрестности точки максимума, если удовлетворяется условие (8). При этом помпаж оказывается жестким, т. е. возникают сразу интенсивные колебания — наиболее опасные. В этом случае возникновение и исчезновение помпажа будет иметь гистерезисный характер.

679,

4. Рассмотрим возможность воздействия на помпаж. Введем обратнува «связь так, что проходное сечение s выходного дросселя будет $s=s_0+a\dot{p}$ Пусть

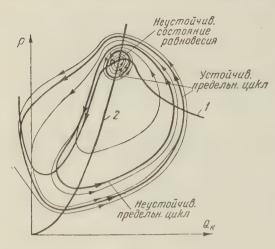


Рис. 3

 $p_g - p_0 = \frac{Q}{hs}$. (2a)

Тогда уравнения (3) и (4) в ко ординатах х, у примут вид

$$L_{\mathbf{a}}\dot{\mathbf{x}} = F'\mathbf{x} - \mathbf{y}, \qquad (3\mathbf{a})$$

$$(C_a + bpa) \dot{y} = x - bs_0 y.$$
 (4a)

Условия устойчивости будутр $F' < \frac{bs_0}{C_a + aps}; F' < \frac{1}{bt_0}$

Очевидно, что выбором постоянной а можно всегда обеспечить устойчивый режим не только в малом, но и в большом (cm. $(^6)$, crp. 33—37).

5. Укажем теперь метод интегрирования уравнения помпа-

жа непосредственно по характеристикам вентилятора и сети в предположении $L_a = \text{const}$, $C_a = \text{const}$ (т. e. $F = F(Q_0^*)$).

В системе координат $p_k - p_0$, Q_k (рис. 2) изобразим характеристику компрессора I и сети 2. Будем рассматривать рис. 2 как фазовую плоскость уравнения (5). Тогда

это уравнение получит очень простую геометрическую ин-

терпретацию.

Пусть точка M_1 с координатами Q_1 и p_0 представляет состояние системы. Изменим в L_a/C_a раз длину отрезка $M_1A_1 = Q_k - \varphi_1(p)$, откладывая его от точки M_1 . Пусть это будет отрезок M_1A_3 . Проводя из точки A_4 как из центра радиусом $A_4 M_1$ элемент устойчив дуги через точку \hat{M}_1 , получим точки M_3 и M_2 . Продолжая указанное построение, последовательно строим инте-

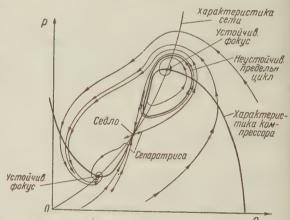


Рис. 4

гральную кривую (подробнее см. (6)). На рис. 3 приведена фазовая плоскость, построенная по указанному способу. На ней имеется неустойчивый фокус, два устойчивых предельных цикла и один неустойчивый. Следовательно, в системе имеется жесткий помпаж двух различных интенсивностей. Аналогичное построение выполнено на рис. 4.

Сопоставление теоретических результатов работы с экспериментальными

показало очень хорошее их совпадение.

Поступило 2 II 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ П. Остертат, Компрессоры и воздуховки, Харьков, 1929. ² А. А. Овчи нников, В. И. Поликовский, Тр. ЦАГИ, № 211 (1935). ³ С. Р f leiderer,
H. Weinrich, Braunschweig, Techn. Hochschule, 1944 (FBN 1935/1). ⁴ R. В и llock. W. Wilcot, J. Mosus, NACA, Rep. № 861 (1946). ⁵ В. А. Боднер, Инж.
сборн., 6 (1950). ⁵ В. В. Казакевич, Тр. ЦИАМ, № 249 (1954). ² А. М. Ляпунов, Общая задача об устойчивости движения, М., 1935. ⁸ Н. Н. Баутин, Поведение динамических систем вблизи границ области устойчивости, М., 1949. 4680

ГИДРОМЕХ АНИКА

Г. Г. ЧЕРНЫЙ

ОБТЕКАНИЕ ТОНКОГО ЗАТУПЛЕННОГО КОНУСА ПРИ БОЛЬЩОЙ СВЕРХЗВУКОВОЙ СКОРОСТИ

(Представлено академиком Л. И. Седовым 7 VI 1957)

В работе (1) нами была сформулирована общая задача об обтекании тонжих затупленных впереди тел вращения или профилей потоком газа при большой сверхзвуковой скорости и получено приближенное ее решение для слуная обтекания затупленного клина. Ниже дается в той же приближенной постановке решение задачи об обтекании затупленного конуса и производится сравнение найденного решения с опытными данными.

Рассмотрим симметричное обтекание потоком газа со скоростью V тонкого затупленного конуса с полууглом раскрытия α. Заменим, согласно эсновной гипотезе работы (1), действие затупленной части конуса на газ

цействием сосредоточенной силы X — сопротивления затупления, припоженной к газу со стороны затупления, размером же последнего будем пренебрегать. Используя закон плоских сечений (²), задачу об обтекании потоком с большой сверхзвуковой скоростью затупленного конуса сведем к следуюцей эквивалентной зацаче об одномерном неустановившемся движении газа с цилиндричекими волнами (координату x вдоль по потоку

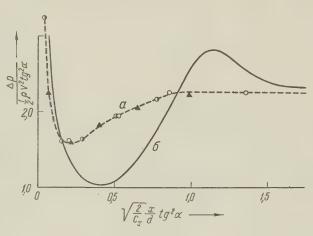


Рис. 1. a — эксперимент, K = 1,2; b — теория, $K = \infty$

чужно при этом заменить через $Vt,\,t-$ время). В начальный момент времени на прямой, расположенной в неподвижном газе, выделяется энергия Е (отнесенная к единице длины прямой, при этом E=X) и газ пачинает раздвигаться цилиндрическим поршнем, радиус которого растет пропорционально времени со скоростью U = V tg α ; кроме того, в общем случае частицы газа приобретают начальный импульс I (отнесенный к слою единичной ширины и углу 2π) в радиальном направлении. При E
eq 0 и I
eq 0, а также при учете начального давления возникающее движение не является автомодельным, и точное решение сформулированной задачи может быть получено лишь сложными численными методами (см., например, $(^3)$). При приближенном решении задачи примем, что вся масса газа в возмущенной области сосредоточена на возникающей ударной волне и движется вместе с ней. Тогда, обозначив через R радиус цилиндрической ударной волны, а через ho_0 и p_0 — начальные плотность и давление газа, представим уравнения сохранения импульса и энергии для газа в возмущенной области в виде

Здесь p — давление газа в возмущенной области; γ — отношение теплоеми костей; точка над R обозначает дифференцирование по времени. Эти два уравнения позволяют при заданных ρ_0 , ρ_0 , γ , E, I, U определить зависим мость от времени величин p и R и, следовательно, возвращаясь к задаче

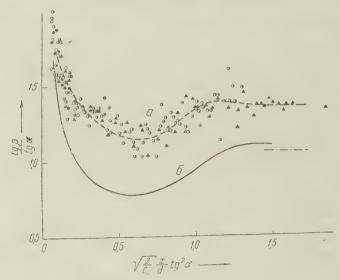


Рис. 2. a — эксперимент, K = 1,2; b — теория, $K = \infty$

об обтекании затупленного конуса, позволяют определить форму возникаю

щей ударной волны и распределение давления по конусу.

Оставляя в стороне случай U=0, рассматривавшийся автором в излагаемой постановке ранее (4), введем для измерения длины масштаб $L=(E/\pi\rho_0U^2)^{1/2}$, для измерения времени— масштаб L/U и обозначим $p-p_0=\rho_0U^2p$. Тогда уравнения (1) примут вид (черта над p опущена)

$$R^{2}\dot{R} = \frac{IU}{E} + 2\int_{0}^{t} \rho R \, dt,$$

$$\frac{R^{2}\dot{R}^{2}}{2} + \frac{R^{2} - t^{2}}{\gamma - 1} \left(\rho + \frac{1}{\gamma K^{2}} \right) = 1 + \frac{R^{2}}{\gamma - 1} \frac{1}{\gamma K^{2}} + 2\int_{0}^{t} \left(\rho + \frac{1}{\gamma K^{2}} \right) t \, dt.$$
(2)

Здесь $K^2 = \frac{U^2}{\gamma p_0/\rho_0}$.

При малых значениях t начальная энергия газа в возмущенной области и работа, произведенная поршнем, малы по сравнению с энергией, выделившейся при взрыве, и решение системы (2) переходиг в приближенное решение задачи о сильном взрыве с цилиндрическими волнами (5)

$$R = \left[\frac{8(\gamma - 1)}{\gamma}\right]^{1/4} t^{1/2}, \quad p = \left(\frac{\gamma - 1}{8\gamma}\right)^{1/2} t^{-1}. \tag{3}$$

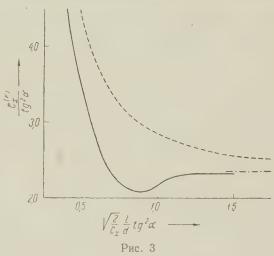
При этом первое из уравнений (2) удовлетворится при малых t только, если в нем IU/E=0. Так как для тонкого конуса величина IU/E пропорциональна $tg \alpha u$, следовательно, мала, то решение, имеющее при малых t 682

асимптотический вид (3), можно использовать для оценки влияния затупления острия конуса на его обтекание потоком с большой сверхзвуковой скоростью. При больших значениях t функция R должна стремиться к липейной, а функции \dot{R} и p — к постоянным, соответствующим обтеканию заостренного конуса.

Решение системы (2), имеющее асимптотический вид (3), может быть получено численным интегрированием. Расчеты, выполненные для случая $K=\infty$ (т. е. пренебрегая начальным давлением), обнаружили следующие интересные особенности поведения решения*. Коэффициент давления на конусе, равный бесконечности в передней точке, быстро уменьшается при движении вдоль образующей конуса, принимая на некотором участке значения,

существенно меньшие значений на заостренном конусе с тем же углом раскрытия (см. рис. 1). Соответственно и угол в между ударной волной и направлением потока имеет минимум (рис. 2). На рис. 1 и 2 приведены также экспериментальные данные, полученные (6) при обтекании конуса с полууглом раскрытия 10° и с различным затуплением при M = 6,85. Качественное совпадение результатов теории ($K = \infty$) и опыта (K = 1,2) несомненно.

Так как давление на значительной части поверхности затупленного конуса ниже,



затупленного конуса ниже, чем на поверхности острого конуса, то суммарное сопротивление затупленного конуса может оказаться ниже сопротивления острого конуса. На рис. 3 приведены значения коэффициента сопротивления конуса C_x^k ,

вычисленные по формуле $(K=\infty)$:

$$C_x^{(h)} = \frac{C_x}{\lg^2 \alpha} \frac{d^2}{d^2} \left[1 + 2 \int_0^{\frac{\pi}{C_x}} \lg^2 \alpha \frac{t}{d} pt \, dt \right].$$

Здесь d и l — соответственно, диаметр затупления и длина конуса; $C_x = \frac{2X}{\wp_0 V^2 \pi d^2/4}$ —коэффициент сопротивления затупления. Сопротивление за-

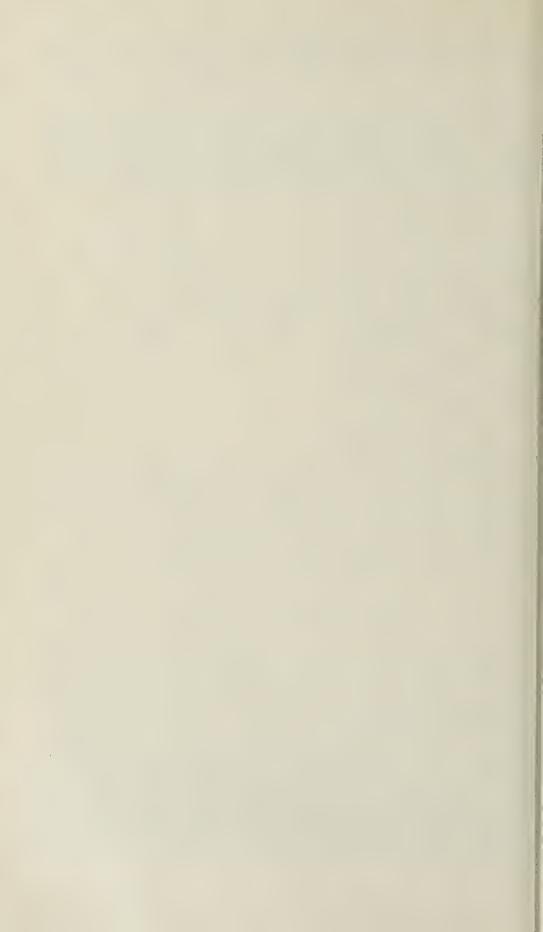
тупленного конуса имеет минимум при $\frac{l}{d} \approx \frac{0.88}{\mathrm{tg}^2 \alpha} \sqrt{\frac{C_x}{2}}$, причем относительное уменьшение коэффициента сопротивления по сравнению с острым конусом достигает 10%. На рис. 3 нанесены также (пунктир) значения $C_x^{(h)}$, полученные путем простого сложения сопротивления острого конуса и сопротивления затупления.

Поступило 4 VI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 Г. Г. Черный, ДАН, 114, № 4 (1957). ² Г. М. Бам-Зеликович, А.И. Бунимович, М. П. Михайлова, Сборн. статей № 4, Теоретич. гидромеханика, 1949. ³ Н. Goldstine, J. Neumann, Comm. Pure and Appl. Math., 8, 2 (1955). ⁴ Г.Г. Черный, Изв. АН СССР, ОТН, № 3 (1957). ⁵ Л.И.Седов, Методы подобия и размерностив механике, М., 1954. ⁶ М.Н.Вегtгаm, J. Aeron. Sci., 23, 9 (1956).

^{*} Расчеты выполнены П. Краснощековым, которому автор выражает искреннюю благодарность.



Л. Т. БАРАДЗЕЙ, В. И. РУБЦОВ, Ю. А. СМОРОДИН, М. В. СОЛОВЬЕВ. Б. В. ТОЛКАЧЕВ и З. И. ТУЛИНОВА

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОТОНОВ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ С ЭНЕРГИЕЙ ОКОЛО 1010 эв С ЯДРАМИ СВИНЦА

(Представлено академиком Д. В. Скобельцыным 5 III 1957)

Исследования взаимодействий протонов космических лучей с ядрами атомов свинца производились на высоте 9000 м при помощи камеры Вильсона, помещенной в магнитное поле напряженностью 9200 эрстед. Схема управления камерой приведена на рис. 1. Расширение в камере происходило при прохождении не менее одной проникающей заряженной частицы через ряды счетчиков $C_1C_2C_3C_4C_5$ и не менее двух заряженных частиц через

телескопы в ряду В.

Для исключения взаимодействий, вызываемых п-мезонами, рассматривались электронно-ядерные ливни, генерированные в пластинке свинца одиночной заряженной частицей. Было отобрано 38 таких случаев. На рис. 2 приведены характерные фотографии ливней. По фотографиям производились промеры пространственного расположения следов частиц, измерения импульсов заряженных частиц, а также оценка их ионизующей способности. Максимально измеримый импульс составлял 3 Бэв/с для следов со средней длиной около 6 см. Точность в определении направления движения частицы составляла около 2°. Ионизующая способность частиц определялась

В табл. 1 показано распределение ливней по числу частиц п в ливне. В первой строке таблицы приведена сумма числа заряженных π•мезонов, генерированных в ливнях, и протонов, ионизующая способ-

1 2 3 4 5 6 7 8 9 Число ливней

Таблица 1

ность которых не отличается в камере от минимальной (импульс протона более 600 Мэв/с).

Малое число зарегистрированных ливней с небольшим числом частиц объясняется выбором, налагаемым схемой управления камерой. Среднее число частиц на взаимодействие, n составляет 3,9+0,3.

Экспериментальные данные позволяют получить некоторые сведения

об основных компонентах электронно-ядерных ливней:

Электроны могли быть выделены от мезонов и более тяжелых частиц следующим образом. В области импульсов, меньших 100 Мэв/с, они обладают минимальной ионизующей способностью. Частицы с импульсом, большим 100 Мэв/с, относились к электронной компоненте в том случае, если они выдетали из пластинки в виде электронно-позитронных пар или сопровождались каскадным пучком электронов.

На рис. З а приведены данные об энергетическом распределении электронов. Если описывать этот спектр степенным законом вида $dN/dE \sim E^{-\gamma}$, то показатель степени у оказывается переменным. Его величина изменяется от значения 1 в области малых энергий до значения 2,5 в области энергий

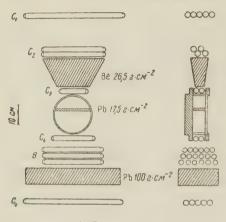
около 1 Бэв.

В области импульсов, меньших 600 Мэв/с, мезоны могли быть отделены от протонов и более тяжелых частиц по величине импульса и ионизующей

способности. В этой области определялось отношение числа мезонов с положительным зарядом, к числу отрицательно заряженных мезонов, которое оказалось равным 1,2+0,4. В области импульсов, больших 600 Мэв/с, все отрицательно заряженные частицы, за исключением электронов, считались π^- -мезонами, а число π^+ -мезонов принималось равным $N_{\pi^+} = 1, 2 \cdot N_{\pi^-}$.

На рис. З б представлено энергетическое распределение мезонов. Сплошная кривая представляет распределение т-мезонов, генерированных в фотоэмульсии, экспонированной в атмосфере (1). Спектры нормированы по полному числу частиц. В пределах погрешностей оба распределения совпадают. Если описывать полученное распределение степенным законом, то в области энергии от 200 до 2000 Мэв экспериментальным данным наилучшим образом удовлетворяет значение $\gamma = 1,6$. Среднее число заряженных мезонов с энергией < 2 Бэв составляет 2.8 + 0.3 на взаимодействие.

На рис. З в показано энергетическое распределение протонов и более тяжелых частиц, которые в дальнейшем будем называть б-частицами. Для



≝рис. 1. Схема опыта

сравнения сплошной кривой представлено распределение протонов, дейтонов и тритонов по данным фотоэмульсий (1) (нормировано по полному числу частиц). Распределения не отличаются в пределах экспериментальных ошибок. В области энергий от 900 до 1300 Мэв полученное распределение можно описать степенным законом с показателем степени $\gamma = 1.5$. Число частиц в этой области энергий составляет 2 + 0,2 на взаимодействие.

Остановимся на распределении энергин между различными компонентами ливней.

Заряженные мезоны с энергией < 2 Бэв уносят энергию, равную среднем 1150 + 130 Мэв

взаимодействие. Представленный на рис. З б спектр л-мезонов можно экстраполировать в область энергий > 2 Бэв по степенному закону с показателем степени $\gamma=2,5$. Это значение совпадает с величиной γ в энергетическом спектре π -мезонов, генерируемых в фотопластинках (1), а также со спектром генерации π -мезонов в атмосфере $\binom{2}{3}$. Согласно экстраполяции, число мезонов с энергией > 2 Бэв, составляет 0,14 на взаимодействие, а несомая ими энергия около 800 Мэв. Таким образом, все заряженные мезоны несут энергию в среднем 2 Бэв на взаимодействие.

Энергию π^0 -мезонов можно определить по энергии электронно-фотонных лавин, генерированных фотонами, возникающими от распада π^0 -мезонов. Энергия электронов, распределение которых приведено на рис. З а, равна 270 + 70 Мэв.

 Φ отоны, образующиеся в результате распада π^0 -мезонов, проходят в свинцовой пластинке путь, равный в среднем 2 радиационным единицам. Для интервала эпергий фотопов от 50 до 1000 Мэв этот пробег близок к пробегу, на котором осуществляется максимальное развитие лавины. В области малых энергий электронов наблюдаемый энергетический спектр электронов близок к спектру в максимуме лавины от фотонов с энергией 330 Мэв, рассчитанному в работе (5). В области больших энергий, согласно расчетам (4, 5), показатель степени спектра электронов совпадает с показателем энергетического спектра π^0 -мезонов. Наблюдаемый спектр электронов удовлетворяет этому условию.

Экстраполируя спектр электронов в области больших энергий по закону $dN/dE\sim E^{-2,5}$, получим, что электроны с энергией >2 Бэв песут энергию около 160 Мэв на взаимодействие. На снимках обнаружен один электрон с энергией > 2 Бэв, идущий в паре с позитроном с энергией 1,4 Бэв. Таким образом, суммарная энергия электронов составит 430 Мэв на взаимодействие.

В равновесном спектре отношение энергии, несомой фотонами, к эпертии, несомой электронами, составит 1,3. Энергия π^0 -мезонов равная суммарной энергии электронно-фотонной лавины, составляет, таким образом, около 1 Бэв на ливень. Отношение энергии, песомой π^0 -мезонами, к энергии, уносимой π^\pm -мезонами, оказывается равным $^1/_2$. Суммарная энергия, уносимая как заряженными, так и нейтральными π -мезонами, составляет около 3 Бэв на взаимодействие.

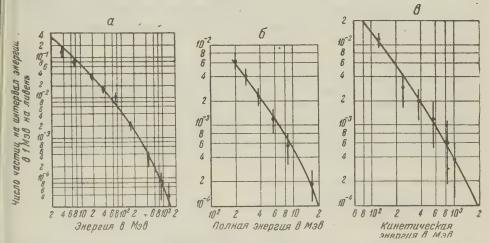


Рис. 3. Энергетическое распределение частиц, испускаемых при ядерных взаимодействиях в свинце: a — электронов, b — a —

Заряженные δ -частицы с энергией в интервале от 90 до 1300 Мэв уносят энергию 700 ± 120 Мэв на взаимодействие. В области энергий > 1300 Мэв приведенное на рисунке 3 ϵ распределение δ -частиц можно экстраполировать по закону $dN/dE \sim E^{-3}$. Такая экстраполяция соответствует данным фотоэмульсии (1). Число δ -частиц в этой области энергии составит 0,13 на взаимодействие, а несомая ими энергия — около 300 Мэв. При учете δ -частиц с энергией в интервале 25 - 90 Мэв, число которых было экстраполировано по приведенным на рис. З ϵ данным, энергия, уносимая заряженными δ -частицами, составит 1,1 Бэв.

Энергию нейтральных б-частиц можно учесть, предположив, что отношение числа нейтронов к числу протонов равно 1,5— отношению числа нейтронов к числу протонов в ядре свинца. Полная энергия б-частиц при этом воз-

растает до 2,4 Бэв на ливень.

Описываемые опыты не дают сведений о частицах с энергией < 25 Мэв, образующих так называемые «черные» следы. При взаимодействии протонов с энергией около 10 Бэв с ядром эмульсии уносимая этими частицами энергия составляет 280 Мэв. Для ядра свинца эта энергия может возрасти в отношении линейных размеров ядер и составить около 400 Мэв.

В рассматриваемых взаимодействиях излучаются частицы высокой энертии, которые еще не были учтены. Среднее число частиц с импульсом > 2 Бэв/c, составляет 0,81 \pm 0,14 на взаимодействие. Согласно сделанным экстраполяциям, число π --мезонов и δ -нуклонов в этой области импульсов равно 0,27.

Избыток частиц высокой энергии не может быть приписан заряженным π -мезонам, так как энергия электронно-фотонной компоненты, образующейся от распада соответствующих π^0 -мезонов, в этом случае имела бы величину около 2 Бэв на взаимодействие. На опыте могло быть обнаружено

возрастание энергии электронно-фотонной компоненты, превышающее 20%

указанной величины.

Поэтому избыток частиц высокой энергии, равный 0,5 частицы на взаи-имодействие, необходимо приписать протонам. Следует отметить, что в 16 из: 38 зарегистрированных ливней наблюдается единственная частица с импульсом > 2 Бэв. Разумно предполагать, что примерно в таком же количестве, как и протоны, испускаются нейтроны высоких энергий.

Минимальная величина суммарной энергии частиц после взаимодействия

составляет при этом около 8 Бэв.

Если принять, что испускаемые нуклоны высокой энергии имеют степенной спектр с показателем $\gamma=2,5$, совпадающий со спектром падающих протонов, то средняя энергия таких нуклонов высокой энергии составит $\frac{\gamma-1}{\gamma-2}$ $E_{\rm rp}=4$ Бэв; при этом средняя энергия взаимодействия составит 11 Бэв.

Методы оценки средней эпергии по величине потока ливнеобразующих частиц, составляющего 0,046 частицы см⁻² мин⁻¹ стер⁻¹, по средней множественности и угловому распределению ливневых частиц приводят к значе-

нию энергии первичных частиц 10 — 13 Бэв.

Таким образом, протон с энергией около 10 Бэв при взаимодействии с ядром свинца в среднем теряет от $^2/_3$ до $^1/_2$ своей энергии. Заряженные и нейтральные π -мезоны уносят около $^1/_3$ энергин падающего протона. Примерно такую же энергию несут δ -частицы.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова. Физический институт им. П. Н. Лебедева Академии наук СССР

Поступило 21 X II 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Физика космических лучей под ред. Дж. Вильсона, ИЛ, 1954, гл. 1. ² M. Sands, Phys. Rev., 77, 180 (1950). ³ Г.М. Гарибян, И.И. Гольдман, ЖЭГФ, 26, 257 (1954). ⁴ A. G. Carlson, I. E. Hooper, D. T. King, Phyl. Mag., 41, 701 (1950). ⁵ И.П. Иваненко, Диссертация, МГУ, 1956. Член-корреспондент АН СССР Е. Ф. ГРОСС и А. А. ШУЛТИН

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВНУТРИМОЛЕКУЛЯРНЫХ И РЕШЕТОЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ КРИСТАЛЛОВ ПО ДАННЫМ ИНФРАКРАСНЫХ СПЕКТРОВ

Изучение вопросов возбуждения колебаний и перераспределения энергии в кристаллических решетках, интерес к которым значительно возрос за последние десять лет, связано в первую очередь со спектроскопическим методом исследования. А. С. Давыдовым ($^{1-3}$) было выполнено несколько весьма интересных работ, касающихся теории поглощения света молекулярными кристаллами. Р. Холфорд (4 , 10), Д. Хорниг ($^{11-17}$) и их сотруд-

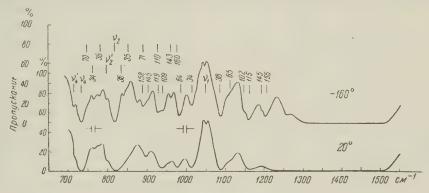


Рис. 1. Инфракрасный спектр пропускания монокристаллического образца Ва $(NO_3)_2$

ники провели ряд исследований, посвященных изучению колебательных спектров молекул и сложных ионов в кристаллах. Однако в настоящее время еще нет количественной теории влияния кристаллического поля и температуры на ширину, положение и интенсивности полос в спектрах поглощения кристаллов.

Как известно, в кристаллической решетке молекулы имеют фиксированное равновесное положение и ориентацию. Колебания частиц около своих равновесных положений и ориентаций, т. е. колебания решетки, имеют энергию в 10 — 100 раз меньшую энергии впутренних колебаний и вследствие этого могут быть возбуждены уже при сравнительно низких температурах.

Согласно теоретическим представлениям (1, 2), возбуждение решеточных колебаний должно обусловить увеличение вероятности переходов, при которых происходит возбуждение светом внутренних колебаний одновременно с решеточными колебаниями. Кроме того, с ростом температуры увеличивается вероятность возбуждения светом молекул с уже возбужденных уровней решетки. Оба указанных процесса должны обнаруживаться в спектрах поглощения молекулярных кристаллов в виде спутников около полос внутримолекулярного возбуждения.

До настоящего времени этот вопрос затрагивался лишь попутно с исследованиями внутримолекулярных колебаний в кристаллах, и не было при-

ложено усилий для получения более отчетливых результатов: в литературе описаны единичные случаи, когда совокупность свойств некоторых полос поглощения в спектрах кристаллов позволяет интерпретировать их вышеуказанным образом.

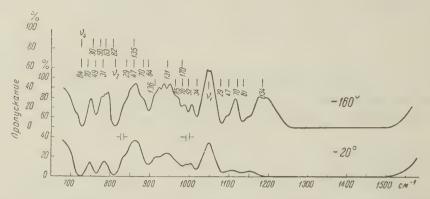


Рис. 2. Инфракрасный спектр пропускания монокристаллического образца Pb(NO₃)₂

Поскольку вопрос о взаимодействии фононов с внутримолекулярными колебаниями представляет большой интерес, нами были проведены иссле-

Таблица 1 Часто ты полос поглощения в спектре монокристалла $Ba(NO_3)_2$ (в см⁻¹) $t = 20^{\circ}$ $t = -160^{\circ}$ Расшифровка 716 717 724 V4 732 748 $v_2 - 70$ 764 ~778 782 $v_2 - 36$ ~ 797 799 V4 - 67 ~ 821 818 841 $v_4 + 109$ 853 $v_2 + 35$ 877 $v_4 + 143$ $v_1 - 158;$ 896 889 $v_2 + 71$ 902 $v_1 - 145$ $v_1 - 119$; $v_2 + 110$ $v_1 - 109$ 938 952 $v_2 + 143$ 961 975 983 $v_1 - 64$; $v_2 + 160$ 1013 $v_1 - 34$ 1013 $v_1 - 19$ ~ 1028 ~ 1038 ν1 ---1047 1047 v_1 $v_1 + 38$ 1085 1085 ~ 1111 ~ 1112 $v_1 + 65$ ~ 1149 $v_1 + 102$ 1158 $\begin{array}{c}
v_1 + 115 \\
v_1 + 145 \\
v_1 + 155
\end{array}$ 1192 1202

1258

1300--1550

1190-1550

дования инфракрасных спектров поглощения монокристалличесобразцов нитрата бария $Ba(NO_3)_2$ и нитрата свинца Pb(NO₃)₂. Эти исследования имели целью выяснить вопрос о наличии и особенностях таких «составных» переходов, интенсивности которых должны заметно зависеть от температуры, а расстояния их от центров полос внутриионного возбуждения быть порядка величин частот колебаний решетки. Вероятность таких переходов должна также зависеть от вида внутриионного возбуждения и типа колебаний решетки, а ширина cootbetствующих полос — определяться суммой распределений плотности частот обеих зон или ветвей возбужденных состояний.

В выбранных кристаллах роль структурных единиц, имеющих впутренние колебательные степени свободы, играют сложные ионы NO₃. Эти ионы представляют собой плоские равносторонние треугольники, в вер-

шинах которых расположены атомы кислорода, а в центре — атом азота. Такая система имеет шесть пормальных колебаний с частотами в области 700— $1500~\rm cm^{-1}$. Образец интрата свинца представлял собой пластинку размером $0.30 \times 10 \times 20~\rm mm$, а образец нитрата бария — пластинку размером $0.56 \times 10 \times 20~\rm mm$. Полученные спектры представлены на рис. 1 и 2, где верхняя кривая соответствует температуре образца — 160° , а нижняя — температуре 20° . Проделанный анализ правил отбора для исследованных кри-

таллов, принадлежащих к пространственной группе T_h^6 , с помощью теории рупп приводит к выводу, что в поглощении должны быть активны все основные впутренние колебания ионов NO_3^- , что и паблюдается в действительности. Однако кроме этих переходов в спектрах обнаруживается дотельности.

полнительно большое число бонее слабых полос поглощения, превосходящее имеющиеся в литературе данные (10,18). Ключом к их расшифровке могут служить ясно выраженные максимумы поглощения, расположенные симметрично относительно пика поглощения 🗤 (в области 1050 cm^{-1}) в красную и фиолетовую стороны. При понижении температуры образцов до —160° интенсивность «красных» спутников заметно снижается. Учитывая величину расстояния этих полос от основного перехода v_1 и их температурную зависимость, подобные спутники можно обнаружить также у полос v_2 и v_4 . Поскольку возможность объясдополнительных ЭТИХ нения максимумов поглощения на основе чисто внутриионных колебательных переходов совершенно исключается, отмеченные выше характерные особенности их

Таблица 2 Частоты полос поглощения в спектре монокристалла $Pb\ (NO_3)_2\ (в\ cm^{-1})$

MOHOK	buctanna In (1.	(O3)2 (B CM)
$t = 20^{\circ}$	$t = -160^{\circ}$	Расшифровка
714-734	$\sim 715)$	
	\sim 724)	V <u>4</u>
. 758	761	$v_2 - 49$
— .	~774	v ₄ +: 50
~779	779	$v_2 - 31$
788	787	$v_4 + 63$
809	810	V ₂
~835	∼839	$v_2 + 29$
_	857	V2 +47
~876	~879	$v_2 + 70$
891	894	$v_2 + 84$
	~914	$v_1 - 136$
920	926	
_	941	
	965	v ₁ 85
979	980	$v_1 - 70$
997	998	$v_1 - 52$
1014	1016	$v_1 - 34$
pt	1050	ν ₁
1079	1079	$v_1 + 29$
	1097	$v_1 + 47$
~1131	1131	$v_1 + 81$
	∼115 0	
_	~1184	$v_1 + 134$
1185—1540	1250-1500	v_3 , $2v_4$

позволяют считать, что эти спутники являются следствием составных переходов, при которых одновременно меняются квантовые числа внутри-

Таблица 3

Расстояния между центром полосы основного внутриионного возбуждения и полосами поглощения, интерпретируемыми как составные с решеткой для различных внутренних колебаний в спектре $Ba\ (NO_3)_2\ (B\ cm^{-1})$

\sim (155) 143 (109) - (67) (34)	\sim (160) 143 \sim (110) $^{-}$ 71 35	$ \begin{array}{c} (155) \\ 145 \\ 115 \\ 102 \\ 65 \\ 38 \end{array} $	В фиолетовую сторону
v_4	V ₂	ν ₁	От основного колебания
	36 ~(70)	$\begin{pmatrix} 34 \\ 64 \end{pmatrix}$	
		109	В красную сторону
		145	
		158 /	

Примечание. Здесь и в табл. 4 числа, заключенные в скобки, относятся к переходам; относительно существования которых нельзя сделать определенных выводов. Отточием отмечены возможные переходы, попадающие за пределы изучавшегося спектра.

ионных и решеточных уровней. Иначе говоря, в случае таких переходов при поглощении кванта света происходит рождение экситона при одновременном рождении (или исчезновении) фонона. Более внимательное изучение спектра Ва(NO₃)₂ показывает, что относительно полосы колебания у симметрично расположены спутники, удаленные на 109, 119, 145 и 158 см^{-1} в красную и на 102, 115, 145 и 155 см⁻¹ в фиолетовую стороны основной частоты 1047 см⁻¹. Некоторые из этих частот весьма близки по величине частотам решетки кристалла нитрата бария, известным из спектров комбинационного рассеяния (19).

Естественно ожидать, что характер взаимодействия внутримолекулярных колебаний с колебаниями решетки зависит от особенностей внутримо-

лекулярного возбуждения. Эти различия должны сказаться именно на расисматриваемых составных полосах поглощения, обусловливая их различные и пиковые интенсивности, распределение интенсивности и различное число спутников около различных основных колебательных полос. Высказанные в

Таблица 4

Расстояния между центром полосы основного внутриионного возбуждения и полосами поглощения, интерпретируемыми как составные с решеткой для различных внутренних колебаний в спектре $Pb\ (NO_3)_2\ (в\ cm^{-1})$

соображения полностью подтверждаются экспериментальными результатами.

Наиболее вероятная на наш взгляд интерпретация наблюденных переходов дана в третьем столбце табл. 1 и 2, а также непосредственно на самих спектрах (рис. 1 и 2).

Сопоставляя полученные результаты, можно видеть, что, несмотря на общую сложность спектров поглощения, большинство

полос укладывается в схему, вытекающую из приведенных рассуждений. Подобие структуры, окружающей отдельные внутриионные колебательные переходы в инфракрасных спектрах монокристаллов нитрата бария и нитрата свинца, наиболее отчетливо видно из табл. 3 и 4.

В нескольких участках спектра исследовавшихся кристаллов происходит наложение составной структуры одной колебательной полосы на аналогичную структуру, относящуюся к другой полосе. Вызываемое этим обстоятельством усложнение спектра в отдельных случаях существенно затрудняет однозначную интерпретацию некоторых максимумов поглощения.

В заключение можно отметить, что в обсуждаемых спектрах наиболее близко расположенные спутники полос поглощения соответствуют частотам колебаний решетки порядка 30—35 см⁻¹, тогда как в спектре комбинационного рассеяния наиболее низкочастотные линии удалены от возбуждающей частоты на 80—90 см⁻¹. По-видимому, эти спутники в инфракрасном спектре появляются благодаря участию колебаний решетки, не меняющих поляризуемости молекул.

Ленинградский государственный университет им. А. А. Жданова

Поступило 23 III 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. С. Давыдов, Тр. Инст. физики АН УССР, в. 1 (1951). ² А. С. Давыдов, Тр. Инст. физики АН УССР, в. 3, 36 (1952). ³ А. С. Давыдов, Сборн. Памяти С. И. Вавилова, Изд. АН СССР, 1952, стр. 211. ⁴ R. S. Halford, J. Chem. Phys., 14, 8 (1946). ⁵ R. S. Halford, O. A. Schaeffer, J. Chem. Phys., 14, 141 (1946). ⁶ R. S. Halford, G. B. Carpenter, J. Chem. Phys., 15, 99 (1947). ⁷ W. E. Keller, R. S. Halford, J. Chem. Phys., 17, 26 (1949). ⁸ H. Winston, R. S. Halford, J. Chem. Phys., 17, 607 (1949). ⁹ R. Karplus, R. S. Halford, J. Chem. Phys., 18, 910 (1950). ¹⁰ R. Newman, R. S. Halford, J. Chem. Phys., 18, 1276 (1950). ¹¹ D. F. Hornig, J. Chem. Phys., 16, 1063 (1948). ¹² R. D. Mair, D. F. Hornig, J. Chem. Phys., 18, 296, 305 (1950). ¹⁴ F. P. Reding, D. F. Hornig, J. Chem. Phys., 19, 594 (1951). ¹⁵ W. E. Osberg, D. F. Hornig, J. Chem. Phys., 20, 1345 (1952). ¹⁶ F. P. Reding, D. F. Hornig, J. Chem. Phys., 20, 16 F. P. Reding, D. F. Hornig, J. Chem. Phys., 22, 1926 (1954). ¹⁷ D. F. Hornig, W. E. Osberg, J. Chem. Phys., 23, 662 (1955). ¹⁸ F. A. Miller, C. H. Wilkins, Anal. Chem., 24, 1253 (1952). ¹⁹ L. Couture, J. P. Mathieu, Ann. Phys., 12, 3, 521 (1948).

М. С. КОСМАН и В. Ф. ПИСАРЕНКО

ПРИЭЛЕКТРОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ЩЕЛОЧНО-ГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛАХ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

(Представлено академиком А. Н. Терениным 17 XII 1956)

Существование потенциального барьера на границе диэлектрика в месте контакта его с металлом $(^1)$ приводит к образованию приэлектродных объемных зарядов при прохождении тока через диэлектрик $(^2)$. Эти объемные заряды вызывают ряд специфичных явлений $(^{3-10})$.

Накопление приэлектродных объемных зарядов отмечено и при электролизе щелочно-галоидных кристаллов (11—13). Интересно исследовать оптические свойства приэлектродных областей кристаллов, подвергнутых элект-

ролизу.

Исследовались образцы из монокристаллов NaCl, KCl, KBr и KJ. Наибольшие грани образцов, имевших форму параллелепипеда размером $12 \times 15 \times 5$ мм³, полировались, и к ним плотно прижимались электроды из алюминиевой фольги (толщиной $10~\mu$) с помощью пружины специального

держателя. Приготовленные таким способом образцы нагревались до постоянной температуры между 450 и 600° и подвергались действию постоянного электрического поля напряженностью 50—400 в/см в течение времени от нескольких минут до 1 часа. При этом измерялись: величина проходящего тока; величина обратного тока, для чего через 1—3 мин. подавалось на 10 сек. поле обратного знака; величина разности потенциалов на незакороченном образце, для чего периодически выключалось на 10 сек. поле,

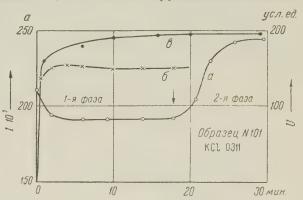


Рис. 1. Изменение тока со временем через образец при постоянном напряжении 15 в и температуре 525°. α — ток через образец; δ — обратный ток; ϵ — разность потенциалов на незакороченном образце в отсутствие внешнего поля

а разность потенциалов измерялась электрометром Комптона.

Оказалось, что для всех исследованных веществ в указанных интервалах температур и напряженностей поля ток со временем изменяется так, как указано па рис. 1. Процессы можно разбить па две фазы: в течение первой фазы ток сначала уменьшается, а потом остается постоянным, величипа обратного тока и разность потенциалов па концах незакороченного образца за это время достигают своего наибольшего значения и потом остаются постоянными; в течение второй фазы ток обычно увеличивается, и образец при этом окрашивается F-центрами. Продолжительность первой фазы зависит а) от качества контакта катод — кристалл, уменьшаясь до некоторой

минимальной величины с улучшением контакта и б) от величины приложен:

ного напряжения, уменьшаясь с ростом напряжения. До электролиза и после нет изучался на спектрофотометре СФ-4 при комнатной температуре спекр поглощения образца, причем свет

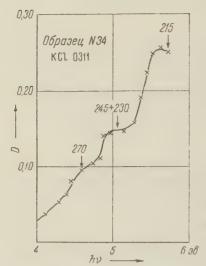


Рис. 2. Спектр поглощения прикатодного слоя

проходил через образец в том же направ лении, в каком было приложено поле.

Оказалось, что в спектре поглощения тонкого (<0,05 мм) прикатодного слоя для всех исследованных материалов после пер-9 вой фазы электролиза возникают 2-3 слабые полосы поглошения. Положение максимумов этих полос совпадает с положением максимумов V_{2-4-} , V_{3-} и V_{7} -полосі (рис. 2). Если кристалл был окрашен, тс кроме известных F-, M-, U-полос, в спектре поглощения образца имеются и указанные полосы (рис. 3).

В табл. 1 приведены длины волн максимумов, наблюдавшихся в прикатодном слое для исследованных материалов, а такжекоротковолновых полос поглощения для кристаллов, окрашенных электролизом с плоскими электродами. В пределах ошибок) измерения положения максимумов наблюдавшихся полос совпадают с положением максимумов полос, указанных в названиях граф таблицы.

Указанные факты укладываются в следующую картину прохождения тока через диэлектрик. Под действием внешнего поля в приэлектродных областях образца накапливаются объемные заряды за счет электронов и дырок, образующихся в соответствующих зонах термической ионизацией

Таблица 1

			_{дмакс}	, миллимин	трон	
Мате- риал	Место локализации центров поглощения	U	V_3	V_z	V_4	V, (?)
KBr	Прикатодн. слой Объем окрашен. с пло- скими электродами	228±2	223 <u>+</u> 3	267 <u>+</u> 3		300 (?)
KC1	образца Прикатодн. слой Объем окрашен. с пло-	228±2 214±2	223±3 210±2	267 ± 3 227 ± 3	2 4 5 <u>+</u> 6	300 (?)
KJ	скими электродами образца Прикатодн. слой Объем окрашен. с пло-	214+2	210±2 278±3	228 <u>+</u> 3 310	2 4 6±6	
NaCl	скими электродами образца Прикатодн. слой Объем окрашен. с пло-		280±3 210±2	310 230±3		270 <u>±</u> 10
	скими электродами образца		210±2	230±4		290+10

примесных центров. В указанной области температур для щелочно-галоидных кристаллов объемный заряд у катода, вероятно, создает более сильное поле, которое заставляет ионы щелочного металла преодолеть пограничный барьер и «испариться» на катод, нейтрализуясь на нем. Образовавшиеся 694

при этом в кристалле вакансии катионов частично будут нейтрализовать объемный заряд, рекомбинируя с дырками и образуя таким образом

V-центры. Линии тока замыкаются входящими с анода дырками. Вхождение их облегчается электронным объемным зарядом у этого электрода. Щелочной металл, выделяясь на катоде, снижает потенциальный барьер для вхождения электронов в кристалл. Электроны, входящие в кристалл, создают слой с повышенной проводимостью; который является по существу форэлектродом, так что на границе окрашенной и неокрашенной частей кристалла идут процессы, аналогичные процессам на электроде, поэтому и в объеме образуется небольшая концентрация V-центров.

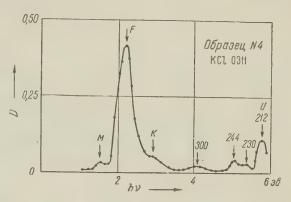


Рис. 3. Спектр поглощения кристалла, окрашенного с плоскими электродами

Ленинградский государственный педагогический институт им. А. И. Герцена

Поступило 19 X I 1956

ШИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 Н. Мотт, Р. Герни, Электронные процессы в ионных диэлектриках, ИЛ, 1950, ¹ Н. Мотт, Р. Герни, Электронные процессы в ионных диэлектриках, ИЛ, 1950, стр. 193—199. ² А. Ф. Иоффе, Полупроводники в современной физике, Л., 1953, стр. 28—30. ³ М. Карев, ЖЭТФ, 7, 1018 (1937). ⁴ М. Карев, ЖЭТФ, 7, 1185 (1937). ⁵ М. С. Косман, Н. А. Созина, ЖЭТФ, 17, 340 (1947). ⁶ М. С. Косман, А. Н. Созина, ЖЭТФ, 17, 472 (1947). ⁷ Я. Н. Першиц, ЖЭТФ, 24, в. 3 (1953). ⁸ Я. Н. Першиц, ЖЭТФ, 29, 362 (1955). ⁹ Я. А. Порфианович, ЖЭТФ, 9, 163 (1939). ¹⁰ М. Долов, Автореферат диссертации, Ленинград, 1953. ¹¹ В. Кузнецов, К. И. Амброз, ЖРФХО, 59, 407 (1927). ¹² М. С. Косман, С. Л. Раппопорт, ЖЭТФ, 17, 460 (1947). ¹⁸ М. С. Косман, Н. А. Петрова, Терпорил момерт пофизика планектриков. Перпористорски 1956 Тез. докл. конфер. по физике диэлектриков, Днепропетровск, 1956.

г. ф филиппов

ПЕРВЫЕ ВОЗБУЖДЕННЫЕ УРОВНИ 'АКСИАЛЬНО-СИММЕТРИЧНЫХ ЧЕТНО-ЧЕТНЫХ ЯДЕР

(Представлено академиком И. Е. Таммом 13 III 1957)

Согласно обобщенной модели (¹) уравнение Шредингера для тяжелых ядер имеет вид

$$(\hat{H}_s + \hat{H}_p + \hat{H}_{int}) = E\psi, \tag{1}$$

где $\hat{H_s}$ — оператор Гамильтона остова; $\hat{H_p}$ — оператор Гамильтона сверхоболочечных пуклонов; \hat{H}_{int} — оператор энергии взаимодействия между остовом и «лишними» пуклонами. Движение остова характеризуется тремя углами Эйлера и переменными β и γ , причем β учитывает изменение площади поверхности ядра при отклонении формы ядра от сферической, а γ показывает степень нарушения аксиальной симметрии.

Уравнение (1) было решено в приближении сильной и слабой связи (2-4). В нашей работе делается попытка рассмотреть в приближении сильной связи вращательно-колебательный спектр аксиально-симметричных ядер. Предположение о сохранении аксиальной симметрии, по-видимому, справодильно в делагия поставка порядка поставка по

ведливо для первых возбужденных уровней.

Обобщенная модель дает следующую функцию Гамильтона для свободных колебаний остова ядра (1):

$$H' = \frac{1}{2} B (\dot{\beta}^2 + \beta^2 \dot{\gamma}^2) + \frac{1}{2} \sum_{\chi=1}^{3} \frac{M_{\chi}^2}{T_{\chi}} + \frac{1}{2} C \beta^2,$$

где $T_{\chi}=4B\beta^2\sin^2(\gamma-\chi\frac{2\pi}{3}).$

В случае $\gamma \equiv 0$, π это выражение сильно упрощается:

$$H = \frac{1}{2} B \dot{\beta}^2 + \frac{M^2}{6B\beta^2} + \frac{1}{2} C \beta^2.$$

Отсюда, согласно рецепту Паули, уравнение Шредингера запишется так:

$$-\frac{\hbar^2}{2B}\left\{\frac{1}{\beta^2}\frac{\partial}{\partial\beta}\beta^2\frac{\partial}{\partial\beta}+\frac{1}{3\beta^2}\left[\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\sin\theta\frac{\partial}{\partial\theta}+\frac{1}{\sin^2\theta}\frac{\partial^2}{\partial\varphi^2}\right]\right\}\Psi+\frac{1}{2}C\beta^2\Psi=E\Psi. \quad (2)$$

Действие четного числа сверхоболочечных нейтронов и протонов проявляется в том, что изменяется выражение для потенциальной энергии: «лишние» пуклоны деформируют остов, и положение равновесия будет при $\beta=\beta_0$. Дважды магическому ядру соответствует $\beta_0=0$.

Итак, для деформированного ядра вместо (2) получим

$$-\frac{h^{2}}{2B}\left\{\frac{1}{\beta^{2}}\frac{\partial}{\partial\beta}\beta^{2}\frac{\partial}{\partial\beta}+\frac{1}{3\beta^{2}}\left[\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\sin\theta\frac{\partial}{\partial\theta}+\frac{1}{\sin^{2}\theta}\frac{\partial^{2}}{\partial\varphi^{2}}\right]\right\}\Psi+$$

$$+\frac{1}{2}C(\beta-\beta_{0})^{2}\Psi=E\Psi. \tag{3}$$

Уравнение (3) приводилось в работе (⁵). Функцию Ψ будем искать в виде:

$$\Psi(\beta, \theta, \varphi) = \frac{u(\beta)}{\beta} Y_{l}^{m}(\theta, \varphi).$$

Волновая функция не должна зависеть от направления оси симметрии системы, поэтому l принимает лишь четные значения. Для u (β) имеем

$$-\frac{h^2}{2B} \left[\frac{d^2u}{d\beta^2} - \frac{l(l+1)}{3\beta^2} u \right] + \frac{1}{2} C (\beta - \beta_0)^2 u = Eu.$$
 (4)

При l=0 это уравнение решается точно. Если $l\neq 0$, то спектр можно найти приближению, разложив в ряд по степеням β выражение

$$\frac{h^2}{2B} \frac{l(l+1)}{33^2} + \frac{1}{2} C (\beta - \beta_0)^2$$
 (5)

(разложение производится вокруг точки, где (5) имеет минимум) и ограничиваясь второй степенью β . Тогда (4) сводится к уравнению для функций Эрмита.

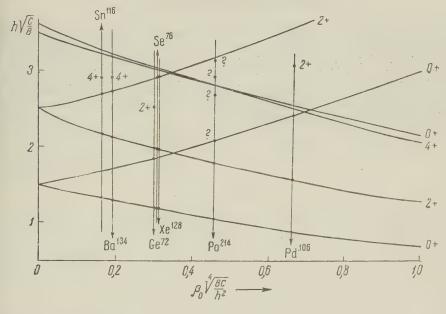


Рис. 1

Энергетический спектр, который получается из уравнения (4), приведен на рис. 1. По оси абсцисс отложено значение $\beta_0 \sqrt[4]{\frac{BC}{h^2}}$, а по оси ординат — энергия в единицах $\hbar \sqrt[4]{\frac{C}{B}}$.

 W_3 обобщенной модели пока нельзя получить правильных абсолютных значений расстояний между уровнями энергии ядер, так как гидродинамические соображения, используемые для подсчета параметров B и M, далеки от действительности. Поэтому с экспериментом можно сравнивать лишь отношение расстояний между уровнями и спины уровней. Для того чтобы определить место ядра на диаграмме, подсчитывалось отношение E_2/E_1 , где E_1 и E_2 — энергии первого и второго возбужденных уровней, отсчитываемые от энергии основного состояния. Потом на графике находилась такая

абсцисса, которой соответствует данное отношение E_2/E_1 и последовательность спинов этих уровней, наблюдаемая на опыте. Знак вопроса стоит в

тех случаях, когда спин уровня экспериментально не определен.

Нами были рассмотрены все тяжелые и полутяжелые ядра (A > 70) с известным спектром первых возбужденных уровней. У большой группы ядер два первых возбужденных уровня приблизительно эквидистантны и имеют при положительной четности спин 2. Получающийся из теории уровень 0+, лежащий рядом с нижним уровнем 2+, у них не наблюдается. Такое расхождение с опытом, возможно, объясняется недостаточной точностью эксперимента, так как 0-0 переход, осуществляемый с помощью электронов конверсии, обладает малой интенсивностью по сравнению с переходом 2-0 близкой энергии.

Заметим, что в предложенную схему не укладываются ядра с малой степенью деформации (Pb²⁰⁶, Sr⁸⁸, Ge¹⁴⁰ и Po²¹⁰). Экспериментальные данные

взяты из работ (⁶⁻¹³).

В заключение автор благодарит акад. И. Е. Тамма и А. С. Давыдова за ценные замечания и В. М. Струтинского за интерес к работе.

Поступило 2 III 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ О. Бор, Проблемы современ. физ., 9, 1 (1955). ² О. Бор, Б. Моттельсон, Проблемы современ. физ., 1, 2 (1956). ³ К. Форд, Проблемы современ. физ., 1, 3 (1956). ⁴ О. Бор, Проблемы современ. физ., 1, 1 (1956). ⁵ L. Wilets, M. Jean, Phys. Rev., 102, 788 (1956). ⁶ R. P. Scharenberg et al., Phys. Rev., 101, 689 (1956). ⁷ J. J. Kraushaar et al., Phys. Rev., 101, 139 (1956). ⁸ D. E. Alburger, B. J. Toppel, Phys. Rev., 100, 1357 (1955). ⁹ R. E. Rowland, Phys. Rev., 99, 757 (1955). ¹⁰ N. Benezeretal., Phys. Rev., 101, 1030 (1956). ¹¹ J. D. Kurbatov et al., Phys. Rev., 98, 674 (1955). ¹² H. Motz, Phys. Rev., 104, 1353 (1954). ¹³ L. J. Baggerly et al., Phys. Rev., 100, 1364 (1955).

ФИЗИКА

Е. Н. ЯКОВЛЕВ

РАСЧЕТ НАМАГНИЧЕННОСТИ ОДНООСНОГО ФЕРРИТА ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

(Представлено академиком Н. Н. Боголюбовым 5 IV 1957)

Энергия одноосного феррита, состоящего из двух ферромагнитных подмешеток (1), может быть представлена в следующей форме (2):

$$\widetilde{H} = -\frac{1}{2} \sum_{h_1 h_2} I(h_1 h_2) (S_{h_1} S_{h_2}) - \frac{1}{2} \sum_{h_1 h_2} \Delta(h_1 h_2) S_{h_1}^z S_{h_2}^z, \tag{1}$$

де $\Delta (h_1h_2) = I_{zz}(h_1h_2) - I_{xx}(h_1h_2)$, $I_{xx}(h_1h_2) = I_{yy}(h_1h_2)$; S_h — спин узла h Z— ось легкого намагничения. Индекс h пробегает значения f_i $(i=1,\ldots,N_1)$ для одной ферромагнитной подрешетки и g_i $(i=1,\ldots,N_2)$ — для другой.

Пусть результирующий спин первой подрешетки S_1 , второй S_2 . Будем полагать далее, что разность $S_1 - S_2$ того же порядка, что S_1 и S_2 . При наличии двух подрешеток каждый ион одной подрешетки имеет ближайшим соседом магнитный ион другой подрешетки. Естественно ожидать, что обменное взаимодействие между ионами разных подрешеток значительно больше, чем магнитное, т. е.

$$\left| \frac{\Delta \left(h_1 h_2 \right)}{I \left(h_1 h_2 \right)} \right| \ll 1_{\bullet} \tag{2}$$

Отношение (2) магнитного взаимодействия к обменному примем за малый параметр. При низких температурах, используя метод приближенного вторичного квантования Боголюбова—Тябликова (2 , 3), гамильтониан можно преобразовать к виду

$$\widetilde{H} = E_0 + \Delta E_0 + \widetilde{H}_2. \tag{3}$$

Смысл E_0 , ΔE_0 и \widetilde{H}_2 уяснится, если операторы спинов, в согласии с упомянутым методом, представить в виде (3)

$$S_h^{\alpha} = \sigma_h^{\alpha} \left(1 - \frac{2n_h}{\sigma_h} \right) + A_h^{\alpha} b_n + A_h^{\alpha} b_h^{+} \quad (\alpha = x, y, z); \tag{4}$$

 a_h — отклонение спина от положения, которое он занимал при абсолютном нуле; b_h , b_h^+ — операторы статистики Бозе $b_h^+b_h=n_h$. Вектор σ_h опреденен из требования минимума E_0 при условии, что $|S_h|=|\overset{\uparrow}{\sigma}_h|$. $A_h^{\alpha},\overset{*}{A}_h^{\alpha}$ — некоторые, коэффициенты в которые входит, в частности, и поле, если таковое имеется.

Первые два члена гамильтониана E_0 и ΔE_0 не содержат операторов $h,b_h^+;$ член \widetilde{H}_2 квадратичен относительно $b_h,b_h^+;$ В первом приближении по параметру анизотропии (2) при абсолютном нуле энергия системы $E_0+\Delta E_0$ соответствует минимуму, когда спины одной подрешетки справлены строго навстречу спинам другой подрешетки.

В магнитном поле спины поворачиваются, оставаясь антипараллель: ными. Угол с осью легкого намагничения ф определяется из уравнени

$$\mu H_{x} - \frac{\sin \varphi}{\varkappa} = \operatorname{tg} \varphi \cdot \mu H_{z}, \tag{5}$$
где $I_{11} = \sum_{f_{1}} I\left(f_{1}f_{2}\right); \ I_{12} = \sum_{g} I\left(f, \, g\right); \ \Delta_{12} = \sum_{g} \Delta\left(f, \, g\right) \, \text{и т. д.};$

$$\varkappa = \frac{\left(S_{1} - S_{2}\right) N_{1} N_{2}}{\Delta_{11} S_{1}^{2} N_{2}^{2} + \Delta_{22} S_{2}^{2} N_{1}^{2} - 2S_{1} S_{2} \Delta_{12} N_{1}}. \tag{6}$$

$$\varkappa = \frac{(S_1 - S_2) N_1 N_2}{\Delta_{11} S_1^2 N_2^2 + \Delta_{22} S_2^2 N_1^2 - 2S_1 S_2 \Delta_{12} N_1}.$$
 (6)

Это справедливо для полей порядка полей анизотропии $\mu H \sim |\Delta_{12}|$ При полях же порядка обменных взаимная антипараллельная ориентан ция, как показано в (3), разрушается. В случае поля, направленного перпендикулярно к оси анизотропии (или параллельно), направлении вектора намагниченности может быть определено точно

$$\sin \varphi_1 = -\frac{n_1 \xi_2 - n_2 (1 - \omega)}{\omega (2 - \omega)}, \sin \varphi_2 = -\frac{n_2 \xi_1 - n_1 (1 - \omega)}{\omega (2 - \omega)} (\Delta_{11} = \Delta_{22} = 0), (7)$$

где φ_1 и φ_2 — углы между осью анизотропии и векторами намагничен ности первой и второй подрешеток. $\xi_1,\ \xi_2,\ \omega,\ n_1,\ n_2$ определяются та

$$\xi_{1}^{2} = \frac{\omega(2-\omega) + n_{1}^{2}}{\omega(2-\omega) + n_{2}^{2}}; \quad \xi_{2}^{2} = \frac{\omega(2-\omega) + n_{2}^{2}}{\omega(2-\omega) + n_{1}^{2}};$$

$$\omega = \frac{\Delta_{12}}{I_{12} + \Delta_{12}}; \quad n_{1} = \frac{\mu H_{\chi} a_{1}}{\sigma_{2}(I_{12} + \Delta_{12})}; \quad n_{2} = \frac{\mu H_{\chi} a_{2}}{\sigma_{1}(I_{21} + \Delta_{21})};$$
(8)

Ограничиваясь членами первого порядка, имеем

$$\sin \varphi_{1} = \mu \varkappa H_{x} + \frac{\mu H_{x} a_{1}}{2\sigma_{1} |I_{21}|}; \quad \sin \varphi_{2} = -\mu \varkappa H_{x} + \frac{\mu H_{x} a_{2}}{\sigma_{2} |I_{12}|}; \qquad (9)$$

$$a_{1} = \frac{(S_{1} + S_{2}) (S_{1} \cos 2\varphi_{0} - S_{2})}{2S_{2} (S_{1} - S_{2})}.$$

Намагниченность феррита в данном случае

$$M_0 = \mu^2 \times H_X (S_1 - S_2) + \mu^2 H_X \frac{N_2}{|I_{12}|} \frac{1}{2} (a_1 + a_2).$$
 (10)

В случае поля, параллельного оси анизотропии, можно показать что спины расположены вдоль оси навстречу друг другу вплоть до полей порядка обменных. Если же, не меняя последней ориентации поля изменять его величину до нуля и дальше, то наблюдается гистерезис т. е. система взаимно противоположных спинов не сразу меняет своположение, а только при достижении значения поля $\mu H' = -1/\kappa$. Намаг ниченность в этом случае меняется скачком от $M_0 = \mu(S_1 - S_2)$ до $M_0 =$ $= -\mu (S_1 - S_2).$

Для намагниченности в интервале температур $|\Delta_{12}| \ll \vartheta \ll \vartheta_c \sim |ar{I}_{12}|$ если поле направлено перпендикулярно оси анизотропии, получим

$$\frac{M}{V} = \frac{M_0}{V} (1 + c_1 T^{s_{|z|}}); \quad \mu H \leqslant 1/\kappa \sim |\Delta_{12}| \quad (M_0 \text{ cm. } (10));$$

$$\frac{M}{V} = \frac{M_0}{V} (1 - c' T^{s_{|z|}}); \quad |\Delta_{12}| \ll \mu H \ll \mu H_1 = \frac{\sqrt{\overline{I_{12} \overline{I_{21}}}}}{\sqrt{N_1 N_2}}; \quad M_0 = \mu \ (S_1 - S_2);$$
(11)

 $\frac{M}{V} = \frac{M_0}{V} (1 + c''T^{\circ_{[2]}}) \quad \mu H \leqslant \mu H_1; \quad M_0 = \mu (S_1 - S_2),$

где коэффициенты с имеют вид:

$$c_1 = c' \sin \varphi = \frac{\mu V \cdot 0.12}{M_0 (\alpha'/k)^{9/2}}; \quad c'' = \frac{\mu V \cdot 0.12}{M_0 (\alpha''/k)};$$
 (12)

V — объем; α' , $\alpha'' \sim |I_{12}|$.

Намагниченность в поле, параллельном оси анизотропии, с ростом семпературы уменьшается при малых полях по закону

$$M = M_0 (1 - cT^{*/2}), \tag{12'}$$

де c=c', при больших же полях $\mu H \leqslant \mu H_1$ увеличивается:

$$M = M_0 (1 + cT^{3/2}), (12")$$

где c = c''.

Возрастание намагниченности с температурой при некоторых полях может быть понято и с физической точки зрения. Так, увеличение намагниченности при малых полях, направленных перпендикулярно оси анизотрошии, происходит за счет того, что отклонение магнитного момента в сторопу поля энергетически выгоднее, чем против поля. Поэтому при нагревании, когда моменты отклонятся от первоначального положения, «амплитуда» отклонения в сторону поля больше, чем против.

Увеличение намагниченности в феррите может происходить и за счет того, что число перевернутых спинов из одной подрешетки может быть не равно числу перевернутых спинов из другой. Так происходит, например, при больших полях $\mu H \leqslant \mu H_1$ (3). Тогда выгоднее повернуться спину подрешетки, ориентированной против поля, чем изменить свое направление

спину подрешетки, ориентированной по полю.

Ход намагниченности качественно совпадает с тем, что получено в ра-

боте (4) на одноосных кристаллах магнетита.

Выше рассмотрен наиболее вероятный случай сильного обменного взаимодействия между ближайшими соседями, принадлежащими разным подрешеткам. Однако можно рассмотреть случай, когда феррит состоит из двух ферромагнитных подрешеток, слабо связанных между собой. Намагниченность в этом случае представляется немного исправленной суммой намагниченностей каждой из подрешеток. Намагниченность и в этом случае ведет себя в качественном согласии с экспериментом (4). Однако высота петли гистерезиса в случае слабой связи должна быть выше, чем соответствующая петля при сильной связи, и по порядку величины будет равна μ ($S_1 + S_2$).

По-видимому, это дает возможность выяснить, какая связь существует

в том или ином случае.

В заключение автор пользуется случаем выразить благодарность С. В. Тябликову за обсуждение работы и ряд важных замечаний.

Математический институт им. В. А. Стеклова Академии наук СССР, Поступило 3 VI 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ L. Neel, Ann. de Phys., **3**, 137 (1948). ² H. H. Боголюбов, Лекції з квантової статистики, Київ, 1949. ³ С. В. Тябликов, Физика металлов и металловедение, **3**, 3 (1956). ⁴ L. R. Bickford, Rev. Mod. Phys., 25, 75 (1953). ⁴ E. И. Кондорский, А. С. Пахомов, Т. Шиклош, ДАН, 109, № 5, 931 (1956).

БИОФИЗИКА!

Э. Я. ГРАЕВСКИЙ и Л. И. КОРЧАК

ВЛИЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ В ТКАНЯХ МЫШЕЙ ВНУТРИВЕННО ВВЕДЕННЫХ КРАСИТЕЛЕЙ

(Представлено академиком А. И. Опариным 7 V 1957)

Многочисленными исследователями, изучавшими действие ионизирующей радиации на животный организм, отмечается увеличение тканевой, и особенно сосудистой проницаемости под влиянием облучения (1-9). Повышение проницаемости стенок сосудов и кишечника зачастую рассматривается как одна из наиболее характерных и существенных особенностей лучевого поражения, с которой связываются геморрагические явления, распростране 1 ние в организме бактерий, токсинов и др. (10-14). Следует, однако, указать, 1 что в имеющихся работах отсутствуют убедительные доказательства того, что увеличение накопления в тканях облученных животных красителей и других веществ связано с изменением тканевой, и в первую очередь сосуди-4 стой, проницаемости. Едва ли можно сомневаться, что под влиянием облучения изменяется не только тканевая проницаемость, но и другие свойства тканей. Работами Насонова, Александрова и их сотрудников показано, что под влиянием различных внешних воздействий изменяются: свойства живого субстрата, и в частности повышается способность протоплазмы связывать красители, что объясняется денатурационными изменениями ее белковых компонентов (15 , 16).

В настоящей работе мы стремились выяснить, как меняется распределение вводимых в организм веществ под влиянием облучения и чем опреде-

ляются наступающие изменения.

Опыты ставились на белых мышах обоего пола в возрасте 6—8 недель весом 18—22 г. Животные подвергались однократному общему воздействию рентгеновскими лучами в дозе 40, 700 или 5000 г при следующих условиях: напряжение 160 кв, ток 15 ма, фильтр 0,5 мм Си и 0,75 мм А1, расстояние 17-21 см, мощность дозы, соответственно, 47-84 г/мин.

В первой серии опытов изучалось распределение красителей нейтрального красного и метиленового синего в органах и тканях мышей — нормальных и облученных при внутривенном введении в разные сроки после воздействия ионизирующей радиацией (2 и 6 час. и 1 и 3 суток). Нейтральный красный вводился в количестве 1,5 мг, а метиленовый синий 0,8 мг в 0,5 мл физиологического раствора. Через 60 мин. после введения красителя животных декапитировали. Печень, селезенка, мозг, легкие, почки и кишечник извлекались и помещались для экстракции красителя в 2% спиртовой раствор серной кислоты. Раствор добавлялся из расчета 5 мл на 1 г ткани. Экстракция продолжалась в течение 24 час., после чего вытяжки колориметрировались при помощи ФЭК-М. Данные, полученные на облученных животных, выражены в процентах по отношению к накоплению красителей тканями пеоблученных (контрольных) мышей. Результаты этих исследований представлены в табл. 1 и 2. Приведенный материал свидетельствует о том, что закономерное увеличение накопления нейтрального красного (табл. 2) обнаруживается лишь в тонкой кишке и селезенке при всех дозах радиации. При 700 г оно наиболее выражено через 6 час. в кишечнике и через 24 часа в релезенке, к 72 час. количество красителя снижается. При 5000 г в обоих органах наблюдается постепенное нарастание накопления красителя вплоть до дня гибели животных. Что касается других изученных тканей, то более или менее значительные сдвиги в накоплении нейтрального красного обнасуживаются преимущественно в терминальный период лучевой реакции. Аналогичные данные были получены и при изучении распределения метиленового синего (табл. 1). Здесь, как и в опытах с нейтральным красным,

Таблица 1

			700 r		1	5000 r	
Т кан ь	Контроль	15—30 мин.	24 часа	72 часа	15—30 мин.	24 часа	72 часа
Гонкая кишка Селезенка Почки Печень Легкие Мозг	100± 3(30) 100± 5(30) 100±10(30) 100±4(29) 100± 6(30) 100± 3(30)	110±11(21) 119±10(22) 98±11(22) 115±13(22) 87± 7(22) 102± 5(22)	121±7(12) 221±18(17) 96±4(21) 111±11(17) 95±6(15) 112±12(17)	$\begin{array}{c} 90 \pm \ 9(7) \\ 163 \pm 12(7) \\ 87 \pm 17(7) \\ 90 \pm \ 9(7) \\ 114 \pm \ 5(7) \\ 90 \pm 10(7) \end{array}$	123±13(5) 124±9(5) 115±6(7) 94±10(7) 101±15(5) 108±11(7)	126± 5(5) 205±40(5) 89± 4(5) 81± 8(5) 143±19(5) 89± 9(5)	150±13(9) 224±23(6) 100± 9(6) 99± 7(6) 171±28(6) 112±13)6)

Примечание. В табл. 1—5 в скобках показано число животных.

наибольшие сдвиги обнаружены в селезенке и кишечнике. При дозе 5000 г содержание красителя остается высоким до дня гибели животных. В остальных органах и тканях существенных сдвигов не отмечено. Исключение составляют легкие, где после 5000 г отмечается повышенное содержание метиленового синего. Обращает на себя внимание то, что наибольшие изменения в накоплении красителей обнаруживаются в тканях, испытывающих под воздействием ионизирующей радиации наибольшую деструкцию, и что

эти два процесса по времени совпадают.

Вторая серия исследований посвящена выяснению вопроса о том, зависит ли накопление красителя в определенные сроки после облучения от изменений проницаемости сосудистой стенки или от каких-то иных процессов, происходящих под влиянием облучения непосредственно в самих исследуемых тканях. Животных декапитировали в разные сроки после облучения, ткани и органы на 60 мин. помещались в физиологический раствор, содержащий 0,018% нейтрального красного. Затем краситель извлекался 2% спиртовым раствором серной кислоты в течение 24 час., и вытяжки колориметрировались. Приведенные в табл. 3 данные показывают, что при окрашивании тканей in vitro, так же как и при внутривенном введении красителей, после облучения в некоторых тканях отмечается повышение способности адсорбировать краситель. При этом наибольшие сдвиги обнаружены в таких радиочувствительных тканях, как селезенка и тонкая кишка. При дозах 400 и 700 г максимум накопления нейтрального красного отмечается в течение суток, а к 72 час. после облучения способность к накоплению красителя несколько снижается. При суперлетальной дозе (5000 г) способность к усиленной адсорбции красителя сохраняется до момента гибели животных. Таким образом, повышение накопления красителя в некоторых тканях после облучения связано не только с изменением проницаемости стенок кровеносных сосудов, но и с теми изменениями, которые наступают непосредственно в самих тканях. Следует указать, что изменение способности связывать краситель не является следствием изменения рН в изучаемых тканях, поскольку при использовании кислого красителя цианола обнаружена та же закономерность, что и при применении основных красителей (табл. 4).

В заключение мы пытались выяснить связаны ли наблюдаемые явления с пребыванием ткани в организме или же они развиваются и в переживающих тканях. С этой целью часть мышей, облученных 5000 г, сразу после

			400 r				700 r					5000 r		
Ткань	Контрол	15—30 мин.	24 yaca	72 часа	15—30 мин.	24 часа	6 час.	24 uaca	72 часа	15-30 мин.	2 yaca	.6 час.	24 часа	72 часа
Тонкая кишка Селезенка Почка Печень Легень Мозг	100±2(87) 100±6 87) 100±6 87) 100±3(87) 100±2(87) 100±2(87)	113±7(85) 103±5(55) 92±4(33) 94±5(35) 96±7(33) 86±7(33)	$\begin{array}{c} 136 \pm 18(18) \\ 148 \pm 10(18) \\ 110 \pm 11(18) \\ 87 \pm 6(18) \\ 101 \pm 25(18) \\ 90 \pm 6(16) \\ \end{array}$	129± 8(6) 146±14(8) 189;14(6) 103±12(6) 99±24(6) 136±29(6)	125 ± 8(59) 97 ± 6(59) 94 ± 6(59) 101 ± 5(59) 92 ± 6(59) 97 ± 8(59)	123 ± 2(6) 112 ± 7(6) 118 ± (6) 104 ± 9(6) 129 ± 20(6) 93 ± 12(6)	190±40(4) 143±18(4) 138±17(4) 114±8(4) 122 (2)	147±10(32) 228±39(28) 94±12(28) 82±17(32) 127±15(28) 89±9(28)	$\begin{array}{c} 107 \pm 9(19) \\ 162 \pm 15(15) \\ 126 \pm 14(15) \\ 121 \pm 12(15) \\ 88 \pm 19(15) \\ 110 \pm 11(15) \end{array}$	$\begin{array}{c} 114 \pm 9(8) \\ 136 \pm 8(8) \\ 97 \pm 12(8) \\ 114 \pm 23(8) \\ 91 \pm 9(8) \\ 91 \pm 9(8) \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c} 135 \pm 5(4) \\ 97 \pm 10(6) \\ \hline 104 \pm 7(5) \\ 88 \pm 2(6) \end{array} $	$\begin{array}{c} 142 \pm 21(4) \\ 146 \pm 10(6) \\ 97 \pm 5(4) \\ 93 \pm 2(4) \end{array}$	145±11(10) 153±21(15) 93±3(10) 135±18(10) 109±15(10) 109±12(15)	179±14(10) 157±2(10) 192±25(10) 188±27(10) 142±13(10) 213±12(10)
													Ta6	лица 3
				7	400 r			700) r			5000 r		
Ткань		Контроль	15—30 мин	. 24	часа	72 часа	15—30 мин	- 24	часа	72 часа	15—30 мин.	24	часа	72 часа
Тонкая кишка Селезенка Почки Печень Легкие Мозг		190±3(60) 100±7(3) 100±7(3) 100±5(30) 100±3(30) 100±4(30) 100±5(30)	131 ± 18(4) 119 ± 1(5) 104 ± 1(5) 99 ± 3(4) 81 (5) 107 ± (5)		$140 \pm 9(4)$ $58 \pm 7(5)$ $444 \pm 2(4)$ $97 \pm 7(4)$ $102 \pm 3(4)$	115±15(4) 145±3(4) 125±3(4) 92±0(4) 151±27(4) 98±9(4)	109±7(7) 104±6(10) 101±6(10) 99±7(10) 87±7(10)	_	150±9(9) 152±14(12) 1133±24(10) 89±6(10) 114±17(10) 106±3(10)	$10 \pm 4(9)$ $149 \pm 17(10)$ $1(2 \pm 5(12)$ $97 \pm 5(12)$ $125 \pm 8(12)$ $109 \pm 17(12)$	101± 8(10) 105±12(10) 94± 4(10) 102±14(10) 90± 6(10)		126± 9(6) 143±12(10) 110±12(10) 115±22(10) 102± 5(10)	$154 \pm 19(12)$ $147 \pm 12(14)$ $111 \pm 11(14)$ $97 \pm 3(12)$ $146 \pm 22(12)$ $114 \pm 14(12)$

облучения декапитирова-п лось, и извлеченные ткани помещались в 0,018% рас. твор нейтрального красно го на 60 мин. Экстрагиро ч ванный из тканей краси р тель колориметрировался, как и в предыдущих сериях опытов. Органы и ткани другой части мышей, также: забитых сразу после облучения, помещались в физиологический раствор 3 часа при 37°, а затем на 60 мин. переносились в 0,018% раствор нейтраль-г ного красного, и 24-часовые спиртовые вытяжки колориметрировались. Анаобрабатывались логично ткани необлученных жи-х вотных. Наконец, последняя группа облученных: мышей декапитировалась через 3 часа после облуче-и ния, и накопление изолированными органами кра- (сителя определялось обыч-и ным способом.

Полученные данные, представленные на табл. 5. (нейтральный красный), по казывают, что в переживающих тканях заметных изменений тинкториальных свойств не происходит.

Способность к усиленому накоплению красителя отмечена только для тканей, которые извлекаются из облученного организмачерез некоторое время после воздействия. Существенно отметить, что в переживающих тканях не обнаруживаются также и деструктивные процессы.

Представленные материалы позволяют прийти к заключению, что повышение тинкториальных свойств, вызываемое общим воздействием ионизирующей радиации в примененных дозах, связано не столько с нарушениями сосудистой проницаемости, сколько с

изменениями способности самих тканей адсорбировать краситель. То обстоятельство, что максимальное накопление красителя совпадает по времени с периодом наиболее выраженных деструктивных процессов, говорит в пользу представления, согласно которому повышенное накопление красителей радиочувствительными органами облученных животных связано с процес-

Таблица 4

				5000 r	
Ткань	Контроль	15—30 мин.	3 часа	24 часа	48 час.
Тонкая кишка Селезенка Мозг	100±2(15) 100±6(9) 100±9(9)	117±2(7) 97±2(7) 115±6(7)	137±5(4) 123±7(4) 111±6(6)	121 ± 4(7) 164 ± 17(7) 106 ± 6(6)	136± 6(7) 192±23(7) 95± 2(6)

Таблица 5

Накопление нейтрального красного в тканях

Ткань	При помещении в раствор красителя сразу после облучения	нии в раствор кра- сителя после 3-час.	При извлечении через 3 часа и по- мещении сразу в раствор красителя	
Тонкая кишка Селезенка Почки Печень Легкие Головной мозг	98±4(10) 104±6(10) 108±3(10) 98±7(10) 98±4(10) 108±2(10)	$\begin{array}{c} 108 \pm 4(20) \\ 94 \pm 4(20) \\ 92 \pm 4(20) \\ 95 \pm 3(20) \\ 108 \pm 4(20) \\ 101 \pm 9(20) \end{array}$	$\begin{array}{c} 116 \pm \ 5(18) \\ 121 \pm \ 9(18) \\ 100 \pm \ 4(18) \\ 102 \pm \ 4(18) \\ 116 \pm \ 5(18) \\ 123 \pm 12(18) \\ \end{array}$	

сами разрушения. Такая точка зрения представляется обоснованной в связи с тем, что паранекротические изменения клеточных элементов, как известно, характеризуются повышением способности связывать краситель, и погибающие клетки адсорбируют краситель сильнее интактных.

Можно предполагать, что многие из описанных в литературе явлений которые связываются с нарушением под влиянием облучения тканевой, и в первую очередь сосудистой, проницаемости, в действительности в значительной степени могут определяться изменениями адсорбционных свойств самих тканей.

Институт морфологии животных им. А. Н. Северцова Aкадемии наук СССР

Поступило 27 III 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Б. Н. Могильницкий, М. С. Брумштейн, Сборн. Вопросы проницаемости кровеносных капилляров в патологии, 1, 1949, стр. 61. ² Б. Н. Могильницемий, Труды научной сессии Инст. рентгенологии и радиологии им. В. М. Молотова, 131, 1949. ³ Н. А. Краевский, Сборн. Биологическое действие излучений и клиника лучевой болезни, 1954, стр. 170. ⁴ Н. И. Арлашенко, Мед. радиол., 3, 29 (1956). ⁵ Л. С. Штерн, Тез. секц. докл. Всесоюзн. конфер. по медицинской радиологии, секция экспериментальный радиологии, 1956, стр. 126. ⁶ R. R. Вigelov, J. Furth, М. С. Woods, R. H. Storey, Proc. Soc. Exp. Biol. and Med., 76, 4, 734 (1951). ⁷ H. I. Сurtis, Adv. Biol. Med. Phys., 2, 1 (1951). ⁸ R. H. Edgerley, Am. J. Physiol., 171 (3), 668 (1953). ⁹ R. H. Edgerley, Am. J. Physiol., 174, (3), 341 (1953). ¹⁰ П. Н. Киселев, Всстн. рентгенол. и радиол., 22, 38 (1940). ¹¹ П. Н. Киселев, Биологическое действие ионизирующего излучения, дозиметрия и применение радиоактивных веществ с лечебной целью. Докл. сов. делегации на 3-м конгр электрорадиологов стран латинской культуры, 1954. ¹² Я. И. Векслер, Военно-медиц. журн., 9, 16 (1955). ¹³ В. Ф. Сосова, Бюлл. радиац. мед., 1, 66 (1954). ¹⁴ J. Q. Griffith, E. Anthony, E. P. Pendergrass, R. Perrymian, Proc. Soc. Exp. Biol. and Med., 64, (3) 331 (1947). ¹⁵ Д. Н. Насонов, В. Я. Александров, Реакция живого вещества на внешние воздействия, 1940. ¹⁶ А. С. Трошин, Проблема клеточной проницаемости, 1956.

В. Г. КУЛИКОВА и Е. А. ТИМОФЕЕВА-РЕСОВСКАЯ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СМЕСИ ОСКОЛКОВ УРАНА, ЦЕРИЯ-144 И ЦЕЗИЯ-137 В ОРГАНИЗМЕ ТРАВЯНОЙ ЛЯГУШКИ

(Представлено академиком В. А. Энгельгардтом 5 IV 1957)

Наиболее полно и всесторонне с помощью метода меченых атомов изучено поведение различных введенных в организм химических элементов у нескольких видов млекопитающих. Для сравнительного изучения повездения этих элементов в организме разных групп животных, и, в частности, различных классов позвоночных, необходимо накопление фактического ма-

териала по многим видам.

Объектом настоящей работы были лягушки вида R. temporaria. Исследовалось распределение по органам смеси осколков урана, церия-144 и цезия-137. Кроме того, был проведен небольшой опыт по изучению возможного влияния состояния зимнего оцепенения на распределение цезия. Всего в опытах было использовано 67 лягушек обоего пола. Опыты проводились в мартеапреле, когда лягушки находились еще в состоянии зимнего оцепенения. Все опыты со смесью осколков урана, с церием и основные опыты с цезием проводились с анабиотическими лягушками, содержавшимися при температуре 7—8°; часть же опытов с цезием проведена была на лягушках, выведенных из состояния зимнего оцепенения при температуре 20°.

Смесь осколков урана, церий и цезий вводились однократно внутрибрюшинно в дозе 0,25 µСи на одну лягушку. Распределение соответствующих излучателей по органам и тканям исследовалось обычным методом; со взвешиванием органов и кратных проб, изготовлением препаратов из тканей, доведенных до постоянного сухого веса и с определением активности на счетной установке Б со счетной трубкой Б-2. Для установления распределения активности по органам лягушки убивались через 6 час., 1, 2, 4, 8, 16 и 32 суток. Содержание и концентрация радиоактивности выражались в процентах от введенного количества с внесением поправки на самопоглощение. Вес крови, кожи, мышц и скелета выражался в процентах от общего

веса тела, по П. В. Терентьеву (1).

Результаты опытов с выдержанным раствором осколков урана показаны на рис. 1. Наименьшая концентрация осколков урана обнаружена в мышцах, высокая — в печени, почках, скелете и коже. Причем в почках, скелете и коже концентрация остается почти на одном уровне в течение всего опыта, в печени со второго дня наблюдается значительное повышение, которое остается постоянным до 32 дня (рис. 1 *I*). Заметное понижение концентрации можно отметить в крови и легких. На рис. 1 *II* изображено содержание осколков урана в тех же органах. Большое количество активности задерживается в коже, скелете и печени. Из крови и мышц идет быстрое ее выделение, и к концу опыта (32 дня) содержится в 10 раз меньше активности, чем в начальные сроки. Значительно меньше активности задерживается в почках, легких и селезенке. К концу опыта в этих органах остается в два раза меньше активности, чем вначале.

На рис. 2 приведены результаты опыта по распределению церия. Из рисунка видно, что в коже анабиотических лягушек задерживается значи-

706

тельная часть церия. Если в первые 6 час. после введения препарата здесь обнаружено 7,2% церия, то на 16 день — уже 55%. Картина распределения

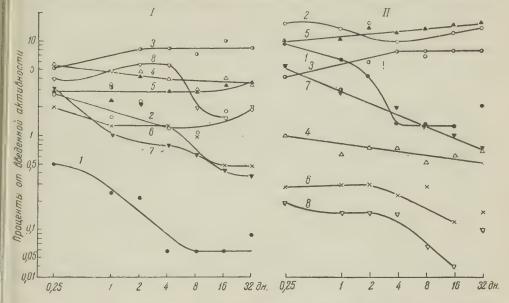


Рис. 1. Концентрация (I) и содержание (II) осколков урана в органах лягушек после внутрибрющинного введения: I — мышцы, 2 — кожа, 3 — печень, 4—почки, 5—скелет, 6 —легкие, 7 — кровь, 8 — селезенка

церия по другим органам лягушек аналогична таковой у теплокровных животных $(^2, ^3)$. Церий откладывается главным образом в скелете и печени и

значительно меньше в других органах.

Результаты опыта с цезием изображены на рис. 3. Как и следовало ожидать, цезий у анабиотических лягушек распределяется, как и у других животных (2, 3), равномерно по органам с преимущественным накоплением в мышцах; к 16 дню опыта содержание цезия в последних составляло 34%. В печени, почках и сердце наблюдалось значительное понижение содержания цезия во времени, меньшее — в селезенке, крови, скелете и легких. Относительно высокая концентрация и содержание цезия отмечались в течение опыта в желудочно-кишечном тракте и семенниках лягушек. На 16-й день в желудочнокишечном тракте содержалось 2,2% цезия. Это, возможно, указывает на один из путей выведения цезия из организма. Высокая концентрация цезия наблюдалась в почках, печени, селезенке, легких, коже и сердце; гораздо меньшая — в крови, скелете и

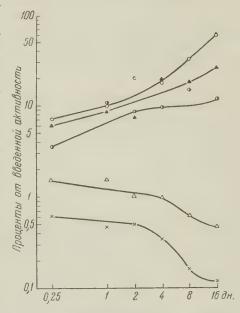


Рис. 2. Содержание церия-144 в органах лягушек после внутрибрюшинного введения; сверху вниз: кожа, скелет, печень, почки, легкие

мышцах. Интересно сравнить изменение концентрации цезия в сердечной мышце и в мышце бедра (рис. 3). Оказывается, что у интенсивнее работаю-

щей сердечной мышцы лягушек концентрация цезия на протяжении всего опыта более высокая, чем у скелетной мышцы. Из сердечной мышцы цезий и выделяется быстрее, в то время как в скелетной мышце наблюдается накопление цезия вплоть до 16 дня.

В отличие от теплокровных животных у лягушек в период оцепенения преобладает кожное дыхание. Это сказалось на поведении смеси осколков

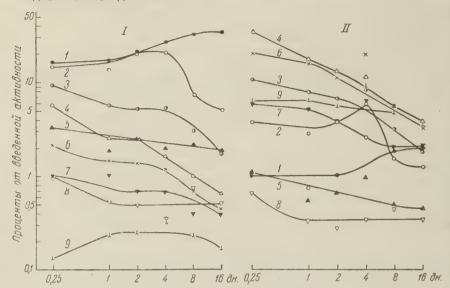


Рис. 3. Содержание (I) и концентрация (II) цезия-137 в органах лягушек после внутрибрюшинного введения: 1 — мышцы, 2 — кожа, 3 — печень, 4 — почки, 5 — скелет, 6 — сердце, 7 — легкие, 8 — кровь, 9 — селезенка

урана, церия и цезия в коже лягушек. Содержание активности в ней достигало, соответственно, 16, 55 и 21%.

Нами проведен также опыт по изучению распределения цезия у лягушек, искусственно выведенных из состояния оцепенения. Как видно из табл. 1,

Таблица 1 Концентрация и содержание цезия-137 в органах анабиотических и «комнатных» лягушек

Число лягушек		4		2			3	3		
Средний вес, г	едний вес, г 33,9+5,2		34,	5+0,07		38	3,8+5,1	35,2+5,1		
Срок, дни			1		P		8			
Темпєратура, °С		7—8	20			78		20		P
	k*	С	k	С		k	c	k	С	
Печень Селезенка Почки Сердце Легкие Желудочно-ки- шечный тракт Мышцы Бедро Скелет Кожа Кровь Семенники	8,8 6,0 19,0 18,2 6,0 7,3 0,8 0,5 2,6 0,4 5,5	$\begin{array}{c} 6,\ 0\pm0,49\\ 0,18\pm0,08\\ 3,\ 0\pm0,19\\ 1,\ 8\pm0,28\\ 1,\ 3\pm0,24\\ \end{array}$	6,0 6,7 13,3 11,6 4,0 6,9 0,9 0,5 3,3 0,4 5,6	$\begin{array}{c} 0,30 \\ 2,\ 0\pm0,04 \\ 1,\ 0\pm0,31 \\ 0,83\pm0,05 \\ 4,\ 7\pm0,35 \\ 16,\ 9\pm2,66 \\ 1,\ 9\pm0,32 \\ 16,\ 9\pm2,06 \end{array}$	0,888	6,4 2,4 4,6 1,7 0,5 1,9 0,5	$\begin{array}{c} 4,\ 1\pm0,54\\ 0,24\pm0,07\\ 1,\ 3\pm0,05\\ 0,91\pm0,16\\ 0,56\\ \end{array}$ $\begin{array}{c} 3,45\pm0,18\\ 28,9\pm2,40\\ 2,\ 6\pm0,10\\ 0,87\pm0,26\\ 1,\ 2\pm0,12\\ \end{array}$	1,9 5,1 4,6 2,8 1,7 1,6 0,5	$\begin{array}{c} 1.66\pm0.42\\ 0.21\pm0.09\\ 0.77\pm0.30\\ 0.29\pm0.09\\ 0.26\pm0.04\\ 1.5\pm0.30\\ 36.6\pm5.8\\ 1.6\pm0.15\\ 4.2\pm1.11\\ 0.56\pm0.08\\ \end{array}$	0 021 0 815 0,169 0,025 0,002 0,020 0,300 0,052 0,070 0,480

^{*} h — концентрация; с — содержание

в которой приведены результаты опыта в 1-й день после введения различий в распределении цезия «компатных» и анабиотических лягушек не обнару-

жено за исключением, может быть, почек, где, впрочем, различия лежат на границе достоверности. На 8 день опыта у «комнатных» лягушек в печени, гсердце, легких, желудочно-кишечном тракте, скелете и коже задерживалось значительно меньше цезия, чем у анабиотических. Статистическая проверка с помощью крилерия t подтвердила достоверность этой разницы.

У лягушек в период оцепенения понижается температура тела и вместе с тем замедляется обмен веществ в организме. По-видимому, именно повышением обмена у «комнатных» лягушек объясняется большая скорость вы-

ведения цезия из организма.

Таким образом эти опыты не показали существенной разницы в типе распределения применявшихся нами излучателей у лягушки по сравнению с таковым у хорошо в этом отношении изученных млекопитающих. Некоторым исключением является лишь более высокое содержание всех изученных излучателей в коже, объясняемое относительно более интенсивным кожным дыханием и выделением у анабиотических лягушек.

Институт биологии Уральского филиала Академии наук СССР Поступило 10 I 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ П. В. Терентьев, Лягушка, 1950. ² S. L. Hood, C. L. Comar, Arch Biochem. and Biophys., 45, 2, 423 (1953). ³ I. Hamilton, Radiology, 49, 1935 (1947).

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

А. И. ВИТКИН

ПРИМЕНЕНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ МЕХАНИЗМА ОСНОВНЫХ ПРОЦЕССОВ ГОРЯЧЕГО ЛУЖЕНИЯ

(Представлено академиком И. П. Бардиным [15 III 1957)

Несмотря на многовековое существование, процесс горячего лужения жести до сих пор не имеет законченной теории. В многочисленных работах (1-4) приводятся такие основные реакции, протекающие в флюсовом узле технологии горячего лужения:

$$ZnCl_2 + 2H_2O \rightarrow Zn (OH)_2 + 2HC1,$$
 (1)

$$FeO + 2HCl \rightarrow FeCl_2 + H_2O$$
, (2)

$$FeCl_2 + 3Sn \rightarrow FeSn_2 + SnCl_2$$
. (3)

Эти реакции призваны разъяснить, что вода и соляная кислота во флюсе в известной мере являются полезными частями, что роль флюса сводится к очистке покрываемого металла от окислов в момент его погружения в ванну с жидким оловом. В упомянутых работах лишь слегка указывается на роль флюса как среды, уменьшающей поверхностное натяжение олова и. следовательно, улучшающей растекание олова по поверхности жести. И. А. Каковский и Н. С. Смирнов (⁵) развили эти представления о флюсе и выдвинули тезис о его основной и исключительной роли в качестве поверхностно-активной среды.

Второму важнейшему этапу процесса — образованию диффузионного, промежуточного слоя (подслоя) — посвящены работы Гамелена (6), Джонса и Хора (7) и др. В работе (1) Хор и Хеджес, говоря об узорчатом подслое, состоящем из темных и светлых участков, покрытых кристаллами FeSn., указывают, что светлые участки возникают вследствие прямой реакции между железом жести и жидким оловом:

$$Fe + 2Sn \rightarrow FeSn_2$$
, (4)

а темные участки образуются в результате протекания реакции (3) и оседания темных кристаллов FeSn, на жесть.

Указанные представления можно изобразить в виде схемы, приведенной

на рис. 1.

Для выяснения истинного механизма основных процессов горячего лужения мы предприняли попытку проследить за движением частиц олова и железа во флюсовом технологическом узле с помощью применения метода «меченых атомов». С этой целью радиоактивные изотопы олова или железа вводили, в зависимости от решаемой задачи, в жидкую ванну или флюс.

Методика определения перехода «меченого» атома из одной среды в другую заключалась в следующем: для определения перехода олова ванны во флю с в ванну с жидким оловом вводили радиоактивное олово (Sn 121); $Q_{\rm o}$ (r) олова, взятого из ванны, растворяли в Q_{Φ} (г) флюса (расплава ZnCl $_2$ при 340°) и в такой флюс опускали образец жести толщиной 0,27 мм с площадью погружения 1 см 2 . Разница весов образца до и после погружения $q_{\Phi}\left(\mathbf{r}
ight)$ 710

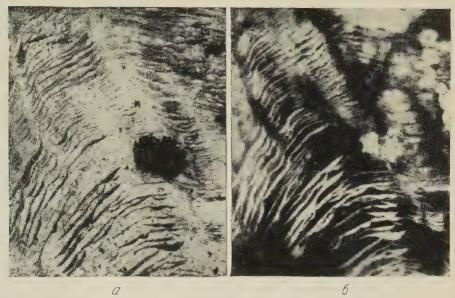


Рис. 2. Подслой белой жести. a — рисунок подслоя, δ — радиограмма того же подслоя

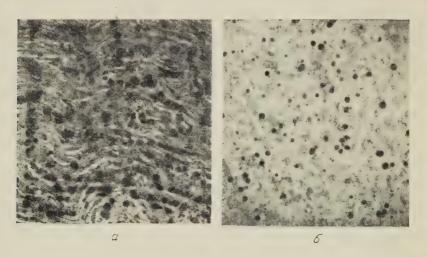
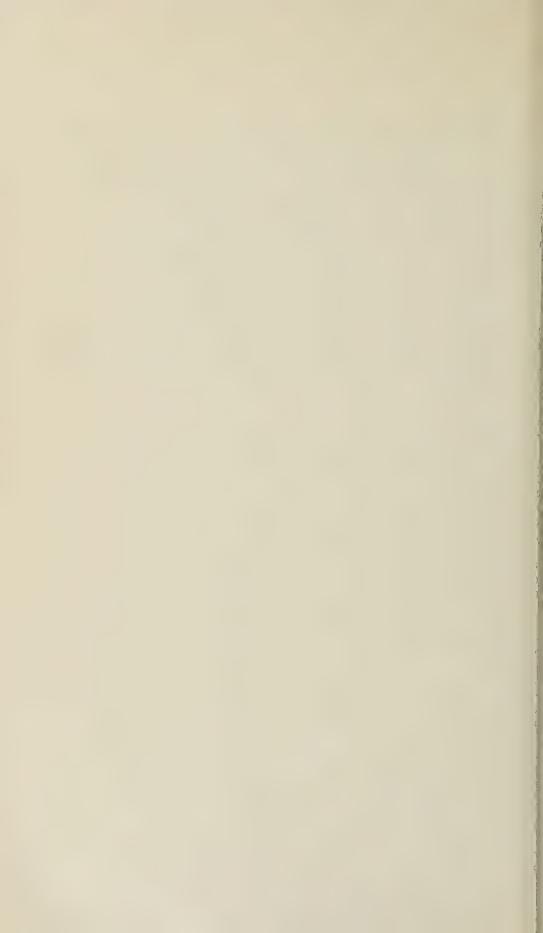


Рис. 3. Пористость подслоя a — подслой промышленной жести, δ — подслой жести после обработки во флюсе-расплаве, содержащем хлорид олова. $2\times$



выражала вес флюса, тонкой пленкой покрывавшего образец. Удельная активность флюса определялась в результате излучения образца, помещенного под трубку счетчика.

$$I_{\phi 1} = \frac{I_{\phi}}{q_{\phi}} , \qquad (a)$$

а удельная активность олова подсчитывалась по формуле

$$I_{o_1} = \frac{I_{\phi} Q_{\phi}}{Q_{o}} \tag{6}$$

Каждый раз удельную активность флюса, наведенного на зеркало ванны, определяли путем введения образца жести во флюс и измерения интенсивности излучения его поверхности, отнесенной к весу флюса на образце. О накоплении олова во флюсе можно судить по отношению

$$k = \frac{I_{\phi_1}}{I_{o_1}}, \tag{B}$$

где k — коэффициент распределения. При определении перехода железа из флюса в ванну, во флюс-расплав вводили радиоактивное железо (Fe⁵⁹) в виде FeCl₂ и применяли анало-

гичную методику, причем коэффи-

циент распределения $k_1 = \frac{I_{o_1}}{I_{\phi_1}}$ характеризовал относительное накопление железа в оловянной ванне.

Растворение железа жести во флюсе и дальнейший его переход в ванну можно было іпроследить путем электролитического нанесения активного железа (Fe⁵⁹) на образец жести и (после его пребывания во флюсе) проверки активности флюса, а затем и олова ванны. При этом факт перехода железа образца через флюс и ванну в подслой определялся путем изменения интен-

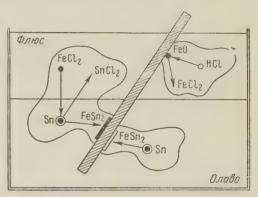


Рис. 1. Схема лужения І

сивности излучения поверхности подслоя образцов из обычной жести без

их предварительного покрытия радиоактивным железом.

Проведенные исследования показали, что при прохождении стальной ленты в ванну через флюс ($ZnCl_2$) идет растворение железа во флюсе ($Fe+2H^+ \rightarrow Fe^{2+} + H_2$) и обогащение его хлоридами железа. В то же время олово жидкой ванны переходит во флюс путем растворения ($Sn+4H^+ \rightarrow Sn^{4+} + 2H_2$) и в основном по реакции (3). Поэтому в «железистых» флюсах олово накапливается быстрее, чем в чистых. Переход олова из ванны во флюс связан с временем τ параболической зависимостью, а при данном τ изменяется экспоненциально с температурой. Измерения интенсивности излучения поверхности подслоя на жести при растворении активного железа во флюсе опровергли предположение о переходе кристаллов $FeSn_2$, образующихся по реакции (3), в подслой: во всех случаях показания счетчика не превышали фона. Таким образом, нельзя отождествлять кристаллы $FeSn_2$ подслоя и кристаллы $FeSn_2$ плавающие в ванне в виде тяжелого или легкого металла. Эти кристаллы отличаются также и формой.

Наиболее существенным для исследования механизма действия флюса оказались опыты по проверке активности стальных пластин, опускаемых через флюс в ванну с активным оловом. После лужения мы отрезали у пла-

стин нижнюю залуженную часть и измеряли активность тех частей пластин которые были во флюсе. Во всех случаях показания счетчика выявили фактосаждения олова из флюса на жесть выше уровня оловянной ванны. Этспредставляло особенную ценность в том случае, когда визуально оловоне обнаруживалось. С повышением концентрации олова во флюсе и с увеличением температуры флюса резко возрастало число импульсов, показываемых счетчиком, что характеризует повышение интенсивности высаживания олова от указанных факторов. При этом осажденное олово уже имеет

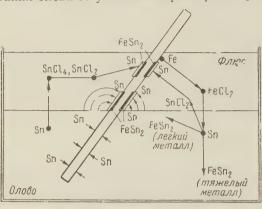


Рис. 4. Схема лужения II

видимый слой толщиной до нескольких микронов. Изучение степени высаживания от времени: показало, что с увеличением т скорость осаждения замедляется. Кроме того, многократная проверка показала, что интенсивность излучения и, значит, осаждения увеличивается с переходом от флюсов растворов на флюсы-расплавы при одной и той же радиоактивности флюса. Таким образом, был сделан первый основной вывод о том, что флюс, обогащенный оловом, представляет собой электролит с основной активной частью из солей:

металла покрытия, который высаживается на поверхности стальной ленты в виде тончайшей пленки. При погружении в ванну жидкое олово с помощью флюса растекается по уже подготовленной поверхности одноименного металла (8).

Осаждение металла покрытия на ленту во флюсе осуществляется, вопервых, за счет реакции вытеснения

$$Fe + SnCl_2 \rightarrow FeCl_2 + Sn$$
 (5)

и, во-вторых, за счет работы гальванической пары Sn — Fe, на поверхности раздела двух жидких фаз: олово — флюс, при аподном поведении олова.

Физико-химические свойства флюса, его активность, как функция концентрации солей олова, влияют на качество подготовки во флюсе поверхности стальной ленты перед горячим покрытием и предопределяют сплошность покрытия.

Во время наших исследований обнаружился еще один основной процесс во флюсе. Из-за высокой температуры флюса (220—250°) часть высаженного олова, обращенная к стальной поверхности, вступает в химическую связь с железом стальной основы с образованием интерметаллического соединения FeSn₂.

Факт протекания начала диффузионного процесса, заканчивающегося далее в жидкой оловянной вание, был открыт путем замера активности той части стального образца, которая находилась во флюсе и затем обезлуживалась до подслоя в горячем растворе метанитробензойной кислоты. Опять-таки, число импульсов, показанных счетчиком, возрастало с ростом активности флюса и увеличением времени выдержки образца.

Так было доказано, что протекание диффузионного процесса между оловом и жестью начинается во флюсе и характер образования подслоя зависит от физико-химических свойств флюса по всей его высоте взаимодействия с жестью. При флюсе-расплаве подслой не имеет узоров и представляет собой однотонное малопористое покрытие из кристаллов FeSn₂; при кипящем флюсе-растворе подслой имеет узорчатую поверхность из чередующихся светлых и темных полос.

Темные полоски являются многопористыми участками, по которым редко

газмещаются зачатки кристаллов FeSn₂. Такой вывод наглядно иллюстриуется радиограммами, одна из которых приведена на рис. 2. Радиограммы няты с образцов после их погружения через кипящий флюс в жидкую ганну с радиоактивным оловом (Sn¹¹³, Sn¹²³) и затем обезлуженных.

Этн выводы послужили основанием для утверждения, что пористость ловянного покрытия зависит от пористости диффузионного слоя и что для олучения малопористых или беспористых покрытий необходимы условия, сключающие образование темных полей подслоя, что может быть достигуто применением флюсов-расплавов, богатых хлоридами олова (рис. 3).

В общем, протекание процессов во флюсовом узле приближен ю можно редставить в виде схемы, приведенной на рис. 4. Все положения, характериующие процесс горячего лужения, являются принципиально общими для

юбого горячего покрытия.

Процессы горячего цинкования получают аналогичное объяснение; разница заключается лишь в том, что осаждение цинка из флюса на стальтую поверхность идет только за счет работы гальванической пары Zn — Fe рез протекания реакции между железом и хлористым цинком флюса.

> Поступи о 14 III 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ W. E. Hoare, E. S. Hedges, Tinplate, London, 1945. ² W. Krämer, tahl u. Eisen, 41, № 6, 234 (1921); 53, № 40, 1237 (1933); 57, № 7,156 (1937). ³ J. Tendl, Korrosion and Metallschutz, № 11, 390 (1941). ⁴ J. Teindl, Chyby při ocínování jemného ocelového plechu, Praha, 1946. ⁵ И. А. Како вский, Н. С. мирнов, Изв. АН СССР, ОТН, № 12 (1955). ⁶ А. Натеlаin, Some Observations и Mottled Tinplate Sheet Metal Industries, 1947, р. 239. ⁷ W. D. Jones, W. Е. Ноаге, Iron and Steel Inst., 129, 273 (1934). ⁸ А. И. Виткин, Изв. АН СССР, сер. физич., № 5 (1956).

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

А. В. КОЛЬЧЕНКО и А. А. СИЛИН

О РЕЖИМЕ И ЗАКОНЕ ТРЕНИЯ РЕЗИНЫ ПРИ СМАЗКЕ В ОБЛАСТИ БОЛЬШИХ СКОРОСТЕЙ И НАГРУЗОК

(Представлено академиком П. А. Реб**и**ндером 20 III 1957)

Исследования трения в осевом резино-металлическом подшипнике, применяемом в турбобурах, проводились на установке, схематически изображенной на рис. 1. Обрезиненный подпятник прижимался к стальному диску вращающемуся на валу электромотора. Нагрузка осуществлялась гидравлическим способом. Момент трения воспринимался гидравлическим датчиком

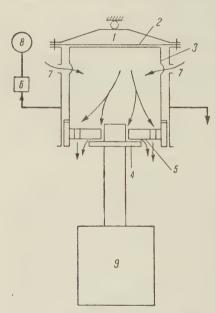


Рис. 1. Схема установки: 1 — камера давления, 2 — резиновая диафрагма, 3 — нажимной стакан, 4 — диск, 5 — подпятник, 6 — датчик, 7 — окна для промывки, 8 — манометр, 9 — эл. мотор

Поверхность стального диска была о шлифована по 6-му классу чистоть твердость резины составляла 85—8 единиц.

Смазка и охлаждение производилис путем подачи воды в каналы подпятни ка под давлением 0,2 атм в количесте 0,2 л/сек (недостаточная) и 0,4 л/се (обильная смазка).

Коэффициент трения определялся пр формуле

$$\mu = \frac{M + \alpha}{(N + \beta) \rho},$$

где M — момент трения, N — осева нагрузка, ρ — радиус трения, α и β - константы стенда, учитывающие потер в системе при передаче окружного усилия и начальную нагрузку на пару трения (ρ = 6,5 см, α = 25 кгсм, β = 60 кг Номинальная площадь контакта 56 см

На рис. 2 представлена зависимост коэффициента трения от скорости сколи жения при водяной смазке и большо нормальной нагрузке. Аналогичная за висимость была получена ранее рядо исследователей (1, 2) для радиальны резиновых подшипников, в которых, ка это доказано прямыми опытами Шання

кова (3), имеет место жидкостный режим трения.

Существование сплошного слоя смазки подтверждается также качес венными совпадениями найденной нами зависимости с обобщенной криво

жидкостного трения Бартенева и Перегудовой (4).

Понятие «жидкостный режим» в данном случае отличается от общепринутого, поскольку существенное влияние на трение оказывает шероховатост обеих трущихся поверхностей. Это объясняется тем, что толщина смазочного слоя из-за низкой вязкости воды мала по сравнению с высотой нерогностей стальной поверхности. Однако возникающее взаимодействие шерогностей.

коватостей резины и металла, по-видимому, не приводит к прорыву смазочного слоя вследствие малости величины модуля упругости резины. Результатом взаимодействия выступов металла и резины через водяные прослойки являются, очевидно, частые вертикальные деформации (колебания) поверхностного слоя резины, на возбуждение которых затрачивается часть энергии трения. Этим, вероятно, объясняется несколько повышенный коэффициент жидкостного трения при не очень больших скоростях скольжения.

С ростом скорости скольжения, вызывающим утолщение смазочного слоя, энергия, затрачиваемая на деформации, уменьшается до минимума, о нем свидетельствует стремление коэффициента трения к обычной для жид-костного режима величине (рис. 2). Очевидно, что с увеличением вязкости смазки и уменьшением шероховатости жесткой поверхности колебания по-

верхностного слоя резины ослабевают или вовсе исчезают.

В опытах с переменным нормальным давлением пара трения притиралась в течение 3 мин. под нагрузкой в 3 кГ/см². Покавания датчика снимались послеминутной выдержки под очередной нагрузкой. Эта методика обеспечивала повторяемость в пределах 10%.

Найденная зависимость удельной силы трения от нормальной нагрузки для случаев обильной и недостаточной смазки дана на

рис. 3.

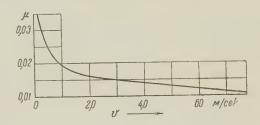
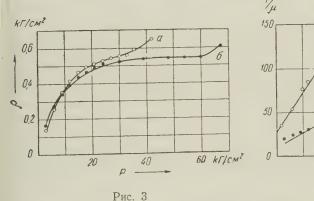


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от скорости скольжения при смазке водой и нормальном давлении $21~{\rm k\Gamma/cm^2}$

Из рис. З следует, что при увеличении нормальной нагрузки сила трения стремится к постоянной величине, однако при очень больших нагрузках наблюдается ее дальнейшее увеличение, по-видимому, в результате выдав-



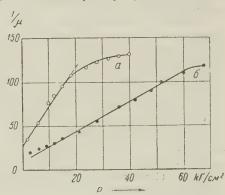


Рис. 4

Рис. 3. Зависимость силы трения от нормальной нагрузки. v=4.8 м/сек, $t=20^\circ$. a- при недостаточной смазке, b- при обильной смазке

Рис. 4. Зависимость коэффициента скольжения от нормальной нагрузки $v=4.8\,$ м/сек. a- при недостаточной смазке, b- при обильной смазке

ливания смазки в отдельных местах контакта и образования очагов граничного трения.

Величина горизонтальной площадки на кривых (рис. 3) зависит от коли-

чества подаваемой смазки и возрастает с его увеличением.

На рис. 4 дана зависимость коэффициента скольжения $1/\mu$ от нормальной нагрузки для случаев обильной и недостаточной смазки.

Приведенные данные показывают, что при обильной смазке трение подчиняется формуле Тириона — Денни (5,6) в интервале до $60~\mathrm{k\Gamma/cm^2}$ и ча-

стично следует ей (до 15 кГ/см²) при недостаточной смазке. При больших

нагрузках коэффициент трения возрастает.

Данные рис. 3 и 4 согласуются с развитым в работах Бартенева (7, 8) положением о том, что аналитическая связь силы трения с нагрузкой (закон трения) определяется в основном не молекулярным механизмом трения, а зависимостью трения от площади фактического контакта, которая в свою очередь зависит от нагрузки, упругости материала и рельефа поверхности касания. Следствием этого является сходство законов сухого трения резины:

Таблица 1

Зависимость коэффициента «трения покоя» от продолжительности контакта

	лжитель- контакта	ħ	
	P = 3	к Г / с м²	
	сек,	0,52	
10	39	1,1	
30	37	1,4	
20	мин.	1,7	
21	час.	6,1	
		,	
	P = 7	кГ/см ²	
15	сек.	0.59	
30	37	0,69	
2	мин.	1,1	

и трения ее со смазкой. В последнем случае под площадью фактического контакта мы по-нимаем суммарную площадь зон наибольше-го сближения рабочих поверхностей. По метре увеличения нормальной нагрузки число и величина таких зон непрерывно возрастают, стремясь к определенному максимуму, последостижения которого сила трения почти не зависит от нормальной нагрузки. Дальнейший небольшой рост силы трения объясняется по-степенным выдавливанием смазочного слоя.

Жидкостный режим трения сохраняется дс тех пор, пока увеличение нормальной нагрузки не приводит к локальному прорыву утон-с ченного до предела смазочного слоя, о чеми свидетельствует рост коэффициента трения. В наших экспериментах указанное явление отмечалось в зависимости от условий смазки при нагрузках от 40 до 60 кГ/см².

Относительное повышение коэффициента:

трения при малых нагрузках (рис. 4) объясняется, на наш взгляд, влия и нием начальной шероховатости поверхности резины, сглаживающейся с ростом нормального давления*, а также в процессе приработки.

Большой практический интерес представляет исследование пусковых характеристик резино-металлических подшипников. Из приведенных в табл. 1 данных о коэффициенте «трения покоя» следует, что выдавливание водяной смазки происходит в течение нескольких секунд после приложения нагрузки, т. е. значительно быстрее, чем в случае вязкой смазки (4). Болеег длительный контакт приводит к большим силам прилипания вследствие взаимодействия резины и металла через граничный слой смазки.

С ростом нормальной нагрузки коэффициент «трения покоя» умень шается. Эксперименты показали также, что в процессе длительной работь стальной поверхности коэффициент «трения покоя» падает до 0,3. При этом он оказывается стабильным во времени и не зависит от нормальной нагрузки. С увеличением чистоты поверхности до 12 класса коэффициент:

«трения покоя» возрастает.

Авторы выражают благодарность проф. Г. М. Бартеневу за ценные консультации.

Всесоюзный научно-исследовательский и проектный институт по бурению нефтяных и газовых скважин

Поступило 9 III 1957

Институт нефти Академии наук СССР

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ W. Busse, W. Denton, India Rubber J., № 13 (1932) ² S. Brazier, W. Bowyer, Ind. Rubber World, № 1 (1938). ³ В. М. Шанников, Каучуки резина № 12 (1939). ⁴ Г. М. Бартенев, Л. Е. Перегудов, Тр. НИИРП, сборн. 2 48 (1955). ⁵ D. Denny, Proc. Phys. Soc., (B), 66, 721 (1953) ⁶ Р. Тhirion, Rubb Chem. Techn., 21, 505 (1948). ⁷ Г. М. Бартенев, ДАН, 103, 1017 (1955). ⁸ Г. М. Бартенев, Колл. журн., 18, 249 (1956); 18, 626 (1956).

* Причина этого явления заключается, вероятно, в значительном повышении давления

в смазочном слое при увеличении нормальной нагрузки.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

В. В. ЛАВРЕНТЬЕВ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНА ТРЕНИЯ РЕЗИНЫ В ШИРОКОМ ИНТЕРВАЛЕ НОРМАЛЬНЫХ ДАВЛЕНИЙ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 26 II 1957)

Исходя из молекулярно-кинетических представлений, Г. М. Бартенев (¹) разработал теорию трения резины по твердым гладким * поверхностям, на основании которой получена следующая зависимость силы трения от фактической площади контакта и нормальной нагрузки:

$$F = CS^{\Phi} + C_1 \omega P, \tag{1}$$

где C, C_1 — константы, зависящие от скорости скольжения, температуры и молекулярных констант; ω — величина, учитывающая влияние нормального фактического давления p_{ϕ} на величину энергетического барьера u; S_{ϕ} — фактическая площадь контакта, пропорциональная числу контактирующих цепей резины с твердой подкладкой; P — нормальная нагрузка.

Согласно Тириону (2) сила трения при больших нагрузках практически не зависит от нормального давления и, следовательно, в (1) можно положить $\omega \simeq 0$. Отбрасывая второй член в (1) и обозначая ν - S^{φ}/S^{π} , где S^{π} — номинальная площадь контакта, получим

$$F = CS^{\Phi} = CS^{H} v. \tag{2}$$

При малых нагрузках $\nu \simeq \nu_0 + \alpha (1-\nu_0) \, p$, где $p = P/S^{^{\rm H}}; \; \alpha$ — константа, зависящая от модуля эластичности резины; $\nu_0 = S_0^{\phi}/S^{^{\rm H}}; \; S_0^{\phi}$ — площадь контакта при $p \to 0$ (зависит от сил молекулярного притяжения и собственного веса образца резины). При $p \to \infty$ $S^{\phi} \cong S^{^{\rm H}}$. Этим двум условиям на границах удовлетворяет простая интерполяционная формула, подстановка которой в (2) дает

$$F = CS^{\mathrm{H}}(\nu_0 + \alpha p)/(1 + \alpha p). \tag{3}$$

Разделив выражение (3) на нормальную нагрузку $P = \rho S^{\text{H}}$, получим коэффициент трения μ ; его обратная величина равна

$$1/\mu = (1 + \alpha p)/C (\alpha + \nu_0/p).$$
 (4)

В случае установившегося трения C не зависит, а для неустановившегося (например, начального или условного статического трения) зависит от времени предварительного контакта.

Когда $v_0 \cong 0$ или, при больших нагрузках, когда $v_0/p \ll \alpha$, имеем

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{C\alpha} + \frac{p}{C} \,. \tag{5}$$

 $^{^*}$ Согласно (¹) твердыми гладкими поверхностями при трении резины считаются поверхности с величиной шероховатости порядка 10^{-6} см или менее, что соответствует классу чистоты 12-14 по ГОСТу.

Тирион (²) исследовал трение резины в диапазоне нормальных нагрузок от 3 до 15—20 к Γ /см² и предложил формулу

$$1/\mu = a + bp. \tag{6}$$

Сравнение с (5) дает $a = 1/C\alpha$, b = 1/C.

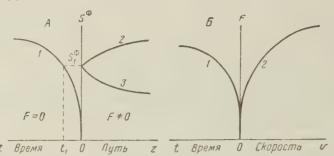


Рис. 1. Изменение фактической площади контакта S^{φ} и силы трения F при начальном (условном статическом) и установившемся трении резины. A — изменение S^{φ} в зависимости от времени неподвижного контакта (I) и пути скольжения (2, 3). E— изменение начальной силы трения F в зависимости от времени предварительного контакта (I) и установившейся силы трения от скорости скольжения (I)

Некоторые авторы (3 , 4) применяют формулы, аналогичные закону Кулона $\mu = A + BP$ и Амонтона $\mu = A$. В (1) показано, что формула (1) при малых нагрузках переходит в закон Кулона и Амонтона.

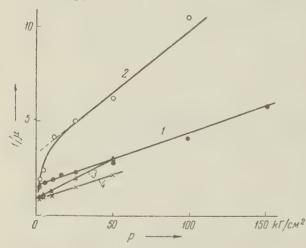


Рис. $^{\prime}$ 2. Зависимость между обратным коэффициентом трения $1/\mu$ и нормальным давлением p.~1 — начальное трение резины СКН-18 по алюминию при 23°; 2 — то же при 65°; 3 — установившееся трение резины СКН-26 по стали при 23° и v=100 мм/ мин; 4—то же по латуни. Кривые по формулам (4) и (5)

Ратнер (3) предложил формулу $\mu = \mu_{\infty} + Bp^{-h}$, которая при $p \to \infty$ противоречит формуле Тириона, на основании чего физическое содержание формулы Тириона было поставлено под сомнение.

Для выяснения вопросов необходимо исследование в широком интервале нормальных нагрузок от 1 до 200 кГ/см² при трении резин по гладким твердым поверхностям. Методика испытания аналогична применявшейся в (6) и основана на измерении силы начального сдвига после заданного времени предварительного контакта (3 мин.). Прибор описан в (7). Как только приложена сила тяги, начинается де-

формация и скольжение образца резины. Сила начального сдвига определяется графически как точка отхода кривой от ординаты, что зависит от точности отсчета. Сила начального трения зависит от времени предварительного контакта, скорости приложения тянущего усилия, температуры и других условий опыта.

Так как сила трения пропорциональна площади фактического контакта при контакте с гладкой твердой поверхностью, то зависимость силы трения 748

времени контакта можно понять, рассмотрев изменение площади фактиского контакта от времени контакта.

На рис. 1 A приведена зависимость S^{ϕ} от времени предварительного конкта при F=0 и от пути скольжения при $F\neq 0$. В первом случае площадь

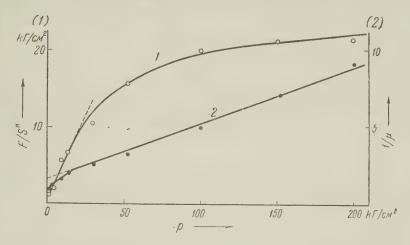


Рис. 3. Зависимость между удельной силой трения $F/S^{\rm H}$ (1), обратным коэффициентом трения $1/\mu$ (2) и нормальным давлением p для резины СКН-26 по стали (начальное трение). Сплошные кривые по формулам (3) и (4)

рактического контакта изменяется, стремясь к некоторому предельному значению, зависящему от нагрузки; во втором случае изменение S^{ϕ} происхоцит по-разному в зависимости от скорости*нарастания тапгенциальной силы.

Для больших скоростей характеристика возрастает (2), а для малых скоростей убывает (1).

Из рис. 1 E видно, что в области малых времен контакта (1) и скоростей (2) наблюдается резкое увеличение силы трения, что подгверждается работами (⁴, ⁵) и теорией (¹) и поясняет наличие условного трения покоя у высокоэластических материалов. Данные, приведенные ниже, относятся в основном к этой вели-

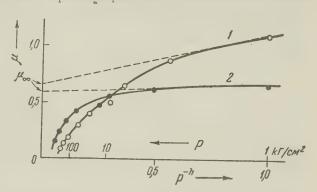


Рис. 4. Зависимость между коэффициентом трения μ и нормальным дазлением p.~1 — резина СКН-26 по стали; 2 — резина СКН-18 по алюминию при 23° (начальное трение); h — твердость резины

чине, называемой в дальнейшем условной статической сипой трения.

По формуле (6) в координатах $1/\nu$, ρ экспериментальные данные должны укладываться на прямую, что видно из рис. 2. В области малых нагрузок наблюдается отклонение от прямой. При повышении температуры до 65° отклонение это увеличивается. Подобные отклонения учитывает формула Бартенева (4). Константа ν_0 характеризует величину отклонения и при повышении температуры или уменьшении жесткости резины увеличивается константа α должна увеличиваться вследствие падения модуля эластичности, константа C с ростом температуры должна падать. Это подтвержности,

цается данными рис. 2 и 3 и табл. 1.

Некоторые авторы (4) применяют формулу Амонтона. Наши опыты покак зывают, что в области малых нагрузок применима формула Кулона.

На рис. З приведена зависимость удельной силы трения $F/S^{\rm H}$ ($S=0.38\,{\rm cm}^2$) от нормального давления, из которой видно, что в области марых нагрузок зависимость изображается прямой. Сплошная кривая нарис. З, вычерченная по формуле (3), показывает хорошее совпадение теоре тической кривой с опытными данными. Из формулы (3) следует, что при $p\to\infty$ $F\to CS^{\rm H}$; константа C равна напряжению сдвига.

Обработка данных по формуле Ратнера (рис. 4) показывает, что пря молинейной зависимости не наблюдается. Коэффициент трения μ_{∞} при $p \to \infty$, получающийся экстраполяцией касательной на ось ординат, но является константой. Ратнер работал в области малых нагрузок, где при близительно ход кривой может быть заменен отрезком касательной.

Таблица 1

Резина и подкладка	Твердость по Шору <i>h</i>	T-pa, °C	Кривая	С, кГ/см²	α, cm²/κΓ	ν _e
СКН-18, алюминий СКН-18, алюкиний СКН-26, сталь СКН-26, сталь СКН-26, латунь	58 58 46 46 46	65 23 23	Рис. 2, 1 Рис. 2, 2 Рис. 3, 2 Рис. 2, 4 Рис. 2, 3	15,6 27,4 37,2		

Таким образом, в области малых нагрузок применим закон Кулона, в области больших нагрузок — формула Тириона. Формула Ратнера неготражает природы трения резины и не применима к трению резин. Во всей области нагрузок приложима формула Бартенева. Формула применима не только для установившегося трения, но и для условного статического трения, причем константу С численно можно характеризовать по аналогии с трением твердых тел (8), как напряжение сдвига, имеющее высокоэластическую природу.

Московский городской педагогический институт им. В. П. Потемкина

Поступило 23 II 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Г. М. Бартенев, ДАН, 103, 1017 (1955); 96, 1161 (1954). ² Р. Тhirion, Rubb. Chem. Techn., 21, 505 (1948). ³ С. Б. Ратнер, В. Д. Сокольская, ДАН, 99, 431 (1954); 83, 443 (1952); 86, 121 (1952). ⁴ І. Наггу, І. Ргоск, Іпd. Rubb. W., 128, 619(1953). ⁵ А. Schallamach, Rubb. Chem. Techn., 6, № 2 (1953). ⁶ Г. Roth, R. Driscoll, W. Holt, Rubb. Chem. Techn., 16, 155 (1943). ⁷ С. Б. Ратнер, В. В. Лаврентьев, ДАН, 108, 461 (1956). ⁸ Г. И. Епифанов, ДАН, 113, № 4; 114 № 4 (1957).

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

A. H. PO3AHOB

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДА И ТЕМПЕРАТУРЫ ЗАКАЛКИ СТАЛИ НА ТВЕРДОСТЬ МАРТЕНСИТА

(Представлено академиком А. А. Бочваром 25 III 1957)

Из литературных данных (1,2) известно, что при увеличении содержания углерода в мартенсите до 0,6% твердость его сильно возрастает. Дальнейшее увеличение углерода в пределах 0,6—2,0% сравнительно мало изменяет твердость мартенсита. Известно также, что степень тетрагональности решетки мартенсита изменяется прямо пропорционально содержанию углерода в нем.

Указанное несоответствие между изменением твердости и степенью тетрагональности решетки мартенсита при увеличении содержания угле-

рода в нем, а также не совсем обычный ход кривой изменения твердости мартенсита в зависимости от содержания углерода в стали до сих пор не имеет удовлетворительного объяснения. В связи с этим нами были проведены исследования, излагаемые в настоя-

щей работе.

Первая серия образцов стали с различным содержанием углерода нагревалась в эвакуированных кварцевых ампулах до 1100° и охлаждалась в воде. После закалки получались в основном темные * иглы мартенсита. Наибольшая микротвердость этих игл в зависимости от содержания углерода изменялась по кривой а рис. 1. Вторая серия образцов нагревалась

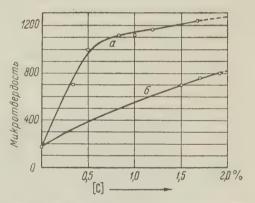


Рис. 1. Влияние углерода на твердость матренсита. а-твердость мартенсита, в котором прошел процесс самоотпуска, б — твердость мартенсита, не подвергавшегося самоотпуску

до 1200°, выдерживалась 2 часа и охлаждалась в воде. После закалки образцов стали с содержанием углерода 1,5; 1,7 и 1,9% были получены белые иглы мартенсита **. Ход изменения твердости белых игл мартенсита в зависимости от содержания углерода показывает кривая б рис. 1.

Микроструктура закаленной стали приведена на рис. 2.

Различие в твердости и степени травимости мартенситных игл, образовавшихся при закалке стали, мы объясняем следующим. Темные иглы мартенсита образовались при более высокой температуре, чем белые, поэтому они в процессе охлаждения при закалке смогли выделить из себя значительное количество весьма мелких карбидов железа (в процессе самоотпуска происходило дисперсионное твердение мартенсита). Белые иглы мартенсита образовались при более низкой температуре, и поэтому процесс самоотпуска в них не проходил.

** В менее углеродистых сталях белых игл не было получено.

^{*} Точнее — иглы с различной окраской: коричневые, желтые, голубые.

Расстояние по вертикали между точками кривых a и b определяет эффект самоотпуска мартенсита при различном содержании углерода в ста-

увеличиваться вследствие увеличения содержания углерода в мартенсите.

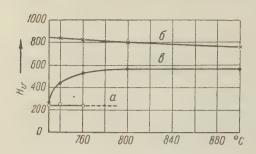


Рис. 3. Влияние температуры закалки доэвтектоидной стали на микротвердость H_v феррита (a), мартенсита_(б) и на макротвердость R_c ; стали (в)

ли. Ход кривой б находится в соответствии с ходом линии, определяющей степень тетрагональности мартенсита при различном содержании углерода.

При повышении температуры закалки доэвтектоидной стали в пределах $A_{C_1} - A_{C_3}$, вследствие увеличения содержания углерода в мартенсите его твердость уменьшается (рис. 3). Твердость стали при этом увеличения количества твердой со-

шения мягкой составляющей стали — феррита. При закалке заэвтектоидной стали с различных температур* можно было ожидать, что твердость мартенсита с повышением температуры закалки стали будет

ставляющей — мартенсита и умень-

Проведенная нами закалка заэвтектоидной стали, содержащей 1,5% углерода показала (рис. 4), что микротвердость мартенсита (H_v) с повышением температуры закалки не увеличивалась, а, наоборот, уменьшалась. Твердость стали (R_c) также уменьшалась с повышением температуры закалки. Уменьшение твердости заэвтектоидной стали с повышением температуры закалки, как известно, объяснялось только увеличением количества остаточного аустенита. Однако, как видно из графика рис. 4, твердость стали уменьшается также и за счет снижения твердости мартенсита.

Причина снижения твердости мартенсита с повышением температуры закалки заключается, по нашему мнению, в следующем. При повышении температуры нагрева стали в пределах $A_{\rm C_1}$ — $A_{\rm C_2}$ увеличивается содержание углерода в

Рис. 4. Влияние температуры закалки, заэвтектоидной стали на микротвердость H_v мартенсита (a) и макротвердость R_c стали (δ)

аустените и вследствие этого снижается мартенситная точка. Чем ниже мартенситная точка, тем в меньшей степени проходит процесс самоотпуска мартенсита. Процесс дисперсионного твердения и содержание углерода в пересыщенном твердом растворе альфа-железа определяют твердость мартенсита. Повышение температуры закалки стали (выше $A_{\rm C_a}$) увеличивает однородность аустенита, что также несколько снижает мартенситную точку, и вследствие этого уменьшает самоотпуск и твердость мартенсита.

В стали, закаленной с самой высокой температуры, образовались только белые иглы мартенсита, которые имели наименьшую микротвердость.

Московский инженерно-физический институт

Поступило 25 III 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. Н. Розанов, Зав. лаб., № 7 (1953). ² А. П. Гуляев, Термическая обработка стали, М., 1953.
 - * Нагрев образцов производился в эвакуированных кварцевых ампулах.

К статье Л. Т. Барадзей. В. И. Рубиова, Ю. А. Смородина, М. В. Соловьева, Б. В. Толкачева и З. И. Тулинова, стр. 685

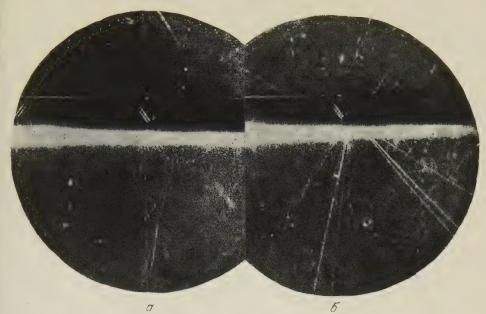


Рис. 2. Примеры ядерных взаимодействий в свинце

К статье А. Н. Розанова, стр. 721



Рис. 2. Микроструктура закаленной стали Мартенсит + аустенит, 2000 \times



КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

в. л. инденбом и г. Е. Томиловский

знутренние напряжения вокруг единичных дислокаций

(Представлено академиком А. В. Шубниковым 22 V 1957).

Согласно теории дислокаций, атомные плоскости в реальных кристалтах личь приблизительно параллельны друг другу и могут оканчиваться внутри кристалла (краевая дислокация) или смыкаться друг с другом, обратуя единую спиральную поверхность (винтовая дислокация). Каждая дисло-

кация вызывает местное искривление решетки и является источником внутренних на-

пряжений.

Многими исследователями получены убедительные данные, показывающие, что макроскопическое искривление решетки действительно слагается из локальных искривпений решетки вокруг отдельных дислокаций. В частности, если краевые дислокации расположены в виде так называемого вертикального ряда (рис. 1), вызванные ими напряжения (вдали от ряда) взаимно компенсируются, а искривления — складываются так, что ряд в целом эквивалентен симметричной границе блоков, повернутых относительно друг друга на угол

$$\vartheta = \frac{b}{D} \,. \tag{1}$$

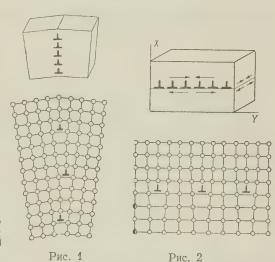


Рис. 2. Горизонтальный ряд краевых дислокаций (линия скольжения). Ориентировка решетки сохраняется, верхняя половина кристалла сжата относительно нижней

Здесь b — вектор Бюргерса дислокаций, D — расстояние между ними. Использование формулы (1) и других подобных выражений позволяет проверить справедливость теоретических предсказаний о дислокациях как источниках искривления решетки ($^{1-5}$).

Покажем, что исследование горизонтального (рис. 2) ряда краевых дислокаций дает возможность проверить предсказания теории о дислокациях как источниках впутренних напряжений. Следует отметить, что такой проверки теории до сих пор провести не удалось. Результаты оптического исследования напряжений в кристаллах кремния (6), сегнетовой соди (7) и коручия (8) полтверждают правильность теоретических расчетов

соли (7) и корунда (8) подтверждают правильность теоретических расчетов распределения напряжений вокруг макроскопических дислокаций теории упругости, а не тех единичных дислокаций, которые фигурируют в дислокационной теории кристаллов.

Пусть горизоптальный ряд составляют дислокации, параплельные ост Z и обладающие вектором Бюргерса, параплельным оси Y. Лишние пло скости дислокаций перпепдикулярны оси Y и располагаются вдоль положительной полуоси X (рис. 2). Если дислокации расположены на расстоя или D, то упругая деформация $y_y^{\rm I}$ верхней половины кристалла будет отличаться от соответствующей деформации $y_y^{\rm II}$ его нижней половины на сум марную толщину b/D лишних плоскостей, оканчивающихся на единичном отрезке оси Y:

$$y_y^{\text{II}} - y_y^{\text{I}} = \frac{b}{D} \,. \tag{2}$$

Учитывая равенство пулю смещений, параллельных оси Z (плоско-де формированное состояние), и непрерывность компонент тензора напряжений действующих на плоскость YZ, можно вычислить вызванные дислокациями скачки напряжений Y_y и Z_z . В случае упруго-изотропного кристалла

$$Y_y^{II} - Y_y^{I} = \frac{b}{D} \frac{E}{1 - \mu^2}; Z_z^{II} - Z_z^{I} = \frac{b}{D} \frac{\mu E}{1 - \mu^2}$$
 (3)

(E-модуль Юнга, $\mu-$ коэффициент Пуассона). Аналогичный расчет для ряда краевых дислокаций, параллельных оптической оси корунда, дае

$$Y_y^{\text{II}} - Y_y^{\text{I}} = \frac{b}{D} : (s_{11} - s_{13}^2/s_{23}); \quad Z_z^{\text{II}} - Z_z^{\text{I}} = \frac{b}{D} : (s_{13} - s_{11}s_{33}/s_{13}).$$
 (4)

Итак, в плоскости горизонтального ряда краевых дислокаций происходит скачок величины нормальных напряжений, действующих вдоль вектор: Бюргерса и вдоль линий дислокаций. Сопоставление этого скачка напряжений с плотностью дислокаций, найденной, например, по методу травления может дать прямую проверку поля напряжений вокруг дислокаций, аналогично тому как использование соотношения (1) дает прямую проверку геометрических свойств дислокаций.

Образование горизонтальных рядов краевых дислокаций наиболее вероятно ожидать в плоскостях скольжения: сдвиг, начинающийся у одного края плоскости скольжения и далее распространяющийся по всей этой пло скости, соответствует перемещению в направлении скольжения последо вательных линий дислокаций. Интересно, что еще И. В. Обреимов и Л. В. Шубников (9), наблюдая оптическим методом в кристалле NaCi напряжения по обе стороны плоскости скольжения, отмечали, что напряжения были видны при просмотре как перпендикулярно, так и параллельно направлению скольжения**. Иными словами, Обреимов и Шубников наблюдали (в наших обозначениях) как скачок напряжений Y_y , так и скачок напряжений Z_z .

Однако кристалл NaC! неудобен для количественного исследования линий скольжения, так как обладает взаимию перпендикулярными направлениями скольжения, в результате чего на линии скольжения могут наложиться полосы деформации.

По-видимому, именно это обстоятельство привело к трудностям, отмеченным в примечании к статье Н. М. Меланхолина и В. Р. Регеля (11) Значительно легче выделить линии скольжения в кристалле корунда, гдо направления скольжения параллельны граням призмы и составляют друго другом угол 60° (рис. 3).

^{*} Соотношение, эквивалентное первой формуле (3), впервые было указано Наем (14) при интерпретации результатов оптического исследования линий скольжения в кристаллам AgCl.

AgCl.

** Следует отметить, что критические замечания Аншелеса и Кузнецова (10) об ошибке якобы допущенной в вычислениях Обренмова и Шубникова, основаны на недоразумении 724

На рис. 4 а показана пластинка синтетического корунда (лейкосапфира), вырезанная по базису и протравленная по методу (12), который оказался достаточно чувствительным для выявления единичных дислокаций. Вертижальный ряд фигур травления соответствует границе блоков, горизонтальные и наклонные ряды отвечают линиям скольжения (плоскости скольжения перпендикулярны, а направления скольжения параллелыы плоскости рисунка). Видны все три системы линий скольжения.

Рис. 3. Структура корунда в проекции на плоскость базиса. Черные кружки — ионы алюминия, белые — ионы кислорода. Утолщенными линиями отмечены возможные векторы Бюргерса — минимальные векторы трансляции в направлениях скольжения [1100], [0110], [1010]. Плоскости скольжения (1120), (2110) и (1210) перпендикулярны плоскости рисунка

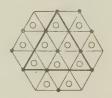


Рис. 4 б представляет тот же образец в скрещенных поляроидах. Обе поверхности пластинки смочены иммерсионной жидкостью. Липии скольжения окаймляются полосами папряжений, которые, как в этом можно убе-

Таблица 1

	Скачок напряж	ений в кГ/мм ²
Dвµ	теор.	эксп.
19 21 22	1,6 1,5 1,4	1,6 1,8 1,7

диться с помощью компенсатора или чувствительной пластинки, имеют разные знаки. Граница блоков, как и следовало ожидать, не вызывает макроскопических напряжений.

Следует особо отметить образование местных концентраций напряжений в местах, где линии скольжения взаимно пересекаются или пересекают границу блоков.

Предположим, что каждая фигура травления соответствует выходу единичной краевой дислокации, обладающей векто-

ром Бюргерса, равным по величине минимальному вектору трансляции вдоль направления скольжения:

$$b = 2\sqrt{3} a \sin \frac{\alpha}{2} = 8{,}32\text{Å},\tag{5}$$

где $a=5,2\mathrm{\AA}$ — ребро, а $\alpha=55^\circ17'$ — плоский угол ромбоэдра — элементарной ячейки решетки корунда. Тогда, учитывая значения упругих постоянных корунда (13) $s_{11}=2,84\cdot10^{-13}$, $s_{13}=-0,47\cdot10^{-13}$, $s_{33}=2,21\cdot10^{-13}$ см²/дин, мы можем с помощью (4) рассчитать по наблюдаемой плотности фигур травления в линиях скольжения теоретическое значение скачка напряжений. Далее это расчетное значение можно сравнить с экспериментальным, найденным по оптическому методу.

Соответствующая оптическая постоянная напряжений была определена нами специально для этой цели и оказалась (с погрешностью порядка 10%) равной $2,1\cdot10^{-7}$ см²/к Γ . Результаты сопоставлены в табл. 1.

Учитывая возможные погрешности за счет подсчета перекрывающихся фигур травления, а также недостаточную точность констант, следует признать совпадение теоретических и экспериментальных данных вполне удовлетворительным.

Итак, каждая фигура травления в линии скольжения в нашем случае действительно отвечает выходу краевой дислокации с единичным вектором Бюргерса, причем все дислокации в плоскости скольжения оказываются одного

знака.

Из совпадения теории и эксперимента следует также, что обычная теория упругости, по-видимому, вполне применима для расчета внутренних напряжений вокруг единичных дислокаций, во всяком случае на расстояниях порядка нескольких микрон от линий дислокаций.

Авторы выражают глубокую благодарность проф. М. В. Классен-Неклюдовой за интерес к работе и ценные замечания.

Институт кристаллографии Академии наук СССР Поступило 15 V 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ F. L. Vogel, W. G. Pfann, H. E. Corey, E. E. Thomas, Phys. Rev., 90, 489 (1953). ² S. Amelinckx, Acta metallurgica, 2, 848 (1954) ³ A. A. Hendrickson, E. S. Machlin, Acta metallurgica, 3, 64 (1955). ⁴ K. T. Aust, R. Maddin, Acta metallurgica, 4, 632 (1956). ⁵ F. L. Vogel, Trans. AIME, 206, 946 (1956). ⁸ W. L. Bond, J. Andrus, Phys. Rev., 101, 1211 (1956). ⁷ B. Л. Инденбом, М. А. Чернышева, ДАН, 111, № 3, 596 (1956). ⁸ B. Л. Инденбом, Г. Е. Томиловский, Кристаллография, 2, 190 (1957). ⁹ И. В. Обреимов, Л. В. Шубников, ЖРФХО, 58, 817 (1926). ¹⁰ В. Д. Кузнецов, Физика твердого тела, 2, 1941, стр. 77. ¹¹ Н. М. Меланхолин, В. Р. Регель, Тр. Ин-та кристаллогр, АН СССР, в. 12, 148 (1956). ¹² М. В. Классен-Неклюдова, ЖТФ, 12, 519 (1942). ¹³ Sundara Rao, Proc. Ind. Acad. Sci., Sec. A, 29, 352 (1949). ¹⁴ J. H. Nye, Proc. Roy. Soc., 200, 47 (1949).

ХИМИЯ

Академик А. А. БАЛАНДИН и П. ТЕТЕНИ

КИНЕТИКА КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ДЕГИДРОГЕНИЗАЦИИ ИЗОПРОПИЛОВОГО СПИРТА В ПРИСУТСТВИИ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ IV ПЕРИОДА

Кинетика дегидрогенизации спиртов над катализаторами: железо, кобальт и никель — мало изучена. Имеется всего лишь несколько работ с никелевым катализатором, осажденным на носителе, в проточной (1,2) и без носителя — в статической системе (3). Между тем эта реакция может служить модельной при изучении вышеупомянутых, чрезвычайно распростра-

ненных на практике катализаторов.

В данной работе исследовалась кинетика дегидрогенизации изопропилового спирта над металлическим железом, кобальтом и никелем, полученными осаждением. Железный катализатор был получен осаждением оксалата железа* 50% раствором щавелевой кислоты из 50% раствора сернокислого железа. Осадок отмывался дистиллированной водой до отрицательной реакции промывных вод на сульфат-ион и разлагался в токе электролитического водорода при 400° в течение 6 час. Катализаторы кобальт и никель были приготовлены осаждением соответствующих гидрозакисей аммиаком из 20% раствора соответствующей азотнокислой соли. Осадок отмывался дистиллированной водой до отрицательной реакции промывных вод на NO_3 . Гидрозакиси кобальта и никеля разлагались в токе воздуха при 400°, а полученные окислы восстанавливались электролитическим водородом при 200, 250, 300 и 350° по 3 часа при каждой температуре. Катализатор между опытами регенерировался водородом в течение 45 — 60 мин. Изопропиловый спирт и ацетон, примененные в исследовании, имели физические константы, совпадающие с литературными данными. Опыты проводились на обычной проточной установке (4). Было установлено, что исследованные катализаторы в изученном температурном интервале (для железа и кобальта до 250°, для никеля до 215°) проводят исключительно дегидрогенизацию изопропилового спирта до ацетона. Образовавшийся газ был чистым водородом, как это показал газовый анализ. Катализат содержал только ацетон и непрореагировавший спирт, что установлено его перегонкой.

Как было показано раньше (2, 5), дегидрогенизация спиртов подчиняется общему кинетическому уравнению мономолекулярных каталитических реакций в потоке, выведенному одним из авторов (6). В случае дегидрогенизации

спиртов без примесей это уравнение имеет вид:

$$\frac{dm}{dl} = k \frac{(A_1 - m)}{A_1 + (z_2 + z_3 - 1) m},$$
(1)

где k — константа скорости реакции, A_1 — скорость подачи исходного вещества, z_2 и z_3 — относительные адсорбционные коэффициенты кетона и водорода, m — количество выделившегося в минуту водорода, l — длина слоя катализатора.

^{*} Но не восстановлением вотородом окислов, которое завершается лишь при температуре заметного спекания.

После интегрирования уравнения (1) получаем:

$$k = (z_2 + z_3) A_1 \ln \frac{A_1}{A_1 - m} - (z_2 + z_3 - 1) m.$$
 (2):

Относительные адсорбциопные коэффициенты, входящие в уравнение (2), определялись реакциопно-кинетическим методом, основанным на понижении скорости реакции при прибавлении к исходному веществу известного количества продукта реакции. Величина скорости реакции при пропускании смеси и сравнение ее со скоростью реакции при пропускании чистого вещества показывает, в какой мере адсорбируется прибавленное вещество на активных участках катализатора. Величина адсорбционных коэффициентов рассчитывалась по формуле*:

$$z = \frac{B_1(2H - Y) - HY}{(1 - B_1)Y}, \tag{3}$$

где $B_1=A_1/\Sigma A_r;\ Y=m/\Sigma A_r;\ H=Y_0/(2-Y_0).$ Здесь Y- глубина превращения в опытах со смесями, а Y_1- с чистым веществом.

Таблица 1Относительные адсорбционные коэ ϕ фициенты z_2

Катализа- тор	Температу- ра, °С	$z_2 = a_{\mathrm{AII}} a_{\mathrm{CII}}$
Железо	210 230 240	$ \begin{vmatrix} 0,66\pm0,02\\ 0,70\pm0,07\\ 0,71\pm0,06 \end{vmatrix} $
Кобальт	206 221 238	$0,45 + 0,03 \\ 0,48 \pm 0,03 \\ 0,45 \pm 0,03$
Никель	166 182 198 209	$\begin{array}{c} 1,51 \pm 0,03 \\ 1,35 \pm 0,06 \\ 1,16 \pm 0,10 \\ 1,00 \pm 0,02 \end{array}$

Таблица 2
Относительные адсорбционные коэф-

	фициенть	J Z ₃
Катализа- тор	Температу- ра, °С	$z_3 = a_{\text{H}_2} a_{\text{CII}}$
Железо	200 220 235 247	$0,20\pm0,02$ $0,05\pm0,02$ $0,06\pm0,02$ $0,10\pm0,02$
Кобальт Никель	204 223 238	$1,03\pm0,03$ $1,02\pm0,08$ $1,04\pm0,01$
	172 184 197 206	$\begin{array}{c} 0,39 \pm 0,01 \\ 0,25 \pm 0,02 \\ 0,16 \pm 0,01 \\ 0,11 \pm 0,01 \end{array}$

Относительные адсорбционные коэффициенты определялись по скорости дегидрогенизации бинарных смесей продуктов реакции с исходным спиртом. При этом объемная скорость спирта в опыте с чистым веществом равнялась суммарной объемной скорости спирта и продукта реакции в опытах со смесями. Для проверки постоянства активности катализатора опыты со смесями чередовались с опытами с чистым веществом. В табл. 1 и 2 приведены результаты определения адсорбционных коэффициентов. Кривые адсорбционного вытеснения, построенные по пяти точкам при каждой температуре, имели общий вид, наблюдавшийся в (5,8).

Как видно из табл. 1 и 2, относительные адсорбционные коэффициенты ацетона и водорода на железном и кобальтовом катализаторах не зависят от температуры. Зависимость адсорбционных коэффициентов от температуры наблюдается лишь в случае никеля, на котором относительные ад-

^{*} Расчет относительных адсорбционных коэффициентов по точному методу (7) показывает, что исследованных нами случаях приближенная формула (3) позволяет рассчитать эти величины с удовлетворительной точностью.

орбционные коэффициенты обоих продуктов уменьшаются с ростом темературы. Зависимость этих адсорбционных коэффициентов от температуры вляется логарифмической, как это видно из рис. 1, где приведен график ависимости 1g z от 1/T. Логарифмическая зависимость относительных деорбционных коэффициентов от температуры наблюдалась и в других рамотах $\binom{2}{8}$ и находится в согласии с представлением, рассматривающим деорбционные коэффициенты как константы равновесия адсорбционного

процесса. Из полученных данных быи рассчитаны разности теплот адорбини водорода, ацетона и изопропилового спирта по формуле:

$$\lambda_{\text{прод}} - \lambda_{\text{сп}} = -\frac{4.57 (\lg z''/z')}{1/T_1 - 1/T_2}$$
 (4)

Получены значения: $\lambda_{\rm au} - \lambda_{\rm cn} = 3.7$ ккал/моль и $\lambda_{\rm H_2} - \lambda_{\rm cn} = 14.5$ ккал/моль. В случае железа и кобальта теплоты адсорбции спирта и продуктов реакции равны или близки друг к другу, как это вытекает из независимости адсорбционных коэффициентов от температуры (9 , 10).

Адсорбционные коэффициенты быгли далее применены для расчета кон-

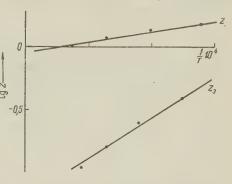


Рис. 1. Зависимость логарифма относительных адсорбционных коэффициентов ацетона и водорода от обратной температуры на Ni-катализаторе

стант скоростей реакции при различных температурах. С целью определения истинной энергии активации дегидрогенизации с каждым катализатором была поставлена серия опытов при различных температурах и постоянной объемной скорости. Для расчета констант скоростей в формулу (2) были подставлены значения A_1 , m и $z_2 + z_3$. Для никелевого катализатора

Таблица 3

Таблица 4

Дегидрогенизация изо- C_2H_7OH на Fe; объем катализатора 5,6 мл; скорость пуска 0,45 мл/мин; $A_1=45$ мл/мин; $A_1=45$ мл/мин; $A_1=6,03$ мл/мин на 1 мл катал.; $z_2+z_3=6,79$; $\epsilon=20\,000$ кал/моль; $k_0=7,08\cdot10^8$; $\epsilon/\lg k_0=2,26\cdot10^8$

Дегидрогенизация изо- C_3H_7OH на Co; объем катализатора 7 мл; скорость пуска 0,15 мл/мин; $A_1=45$ мл/мин; $A_1=6.43$ мл/мин на 1 мл катал:; $z_2+z_3=1,49$; $\varepsilon=12\,400$ кал/моль; $k_0=8,03\cdot10^5$; ε / $\lg k_0=2,1\cdot10^3$

0	№ пы- та	Темп., °С	$v_{ m H_2}$, мл/мин	<i>т</i> Н ₂ , мл¦мин на 1 мл катал.	k	^k pacч	№ опыта	Темп., °С	V _{H₂} , мл/мин	т _{Н₂} , мл¦мин на 1 мл катал.	h	k _{расч}
	3 7 5 2 1 4 6	200 200 210 220 227 232 235	2,28 2,24 3,31 5,32 6,66 7,64 9,03	0,407 0,400 0,592 0,950 1,19 1,36 1,61	0,409 0,406 0,606 1,004 1,27 1,47 1,76	0,403 0,630	5 7 8 6 2 3 1	183 189 194 198 199 210 211 218	5,80 6,25 7,33 8,67 8,90 41,20 40,96 43,20	0,828 0,894 1,05 1,24 1,27 1,60 1,57 1,89	0,943 1,00 1,20 1,44 1,49 1,96 1,92 2,33	0,890 1,05 1,21 1,38 1,42 1,88 1,95 2,42

значение z_2+z_3 находилось при нужной температуре интерполяцией прямых логарифмической зависимости (рис. 1). Полученные результаты приводятся в табл. 3—5 и на рис. 2. Линейная зависимость $\lg k$ от 1/T находится в соответствии с уравнением Аррениуса, что подтверждает справедливость уравнения (2). Истинная энергия активации дегидрогенизации спиртов на Fe и Co определена впервые. В работе (2) для дегидрогенизации бутанола-2 над катализатором никель на кварце было получено $\epsilon=9,9$ ккал/моль, т. е. лишь немного выше, чем здесь.

Как показывают данные, энергия активации дегидрогенизации на изученных нами металлах уменьшается от железа к никелю. Активность ката-

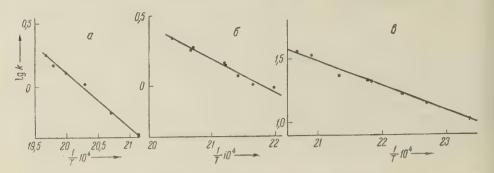


Рис. 2. Зависимость логарифма констант скорости дегидрогенизации от обратной температуры: a — на железе, δ — на кобальте, δ — на никеле

лизаторов переходных металлов четвертого периода растет с увеличением порядкового номера металла и с уменьшением межатомного расстояния.

Таблица 5

Дегидрогенизация изо- C_3H_7OH на Ni; объем катализатора 0,5 мл; скорость пуска 0,15 мл/мин; $A_1=45$ мл/мин; $A_1=90$ мл/мин на 1 мл катал.; $\epsilon=8\,900$ кал/моль, $k_0=3,67\cdot10^5;\;\epsilon/\lg k_0=1,6\cdot10^3$

№ опы- та	Темп., °С	$V_{ m H_2},$ мл/мин	^т Н₂, мл∣мин на 1 мл катал,	$z_z + z_s$	k	_{Арасч}
1	185	8,8	17,6	1,54	20,54	20,65
2	196	12,0	24,0	1,32	29,20	26,10
3	175	7,0	14,0	1,78	16,33	16,60
4	186	9,0	18,0	1,46	21,13	21,13
5	211	14,6	29,2	1,09	35,67	34,70
6	168	6,0	12,0	2,08	13,82	14,10
7	156	4,9	9,8	2,71	10,35	10,40
8	206	13,8	27,6	1,14	33,63	31,30

Новые результаты, полученные в настоящей работе, имеют значение для выяснения зависимости каталитической активности элементов от их положения в периодической системе Менделеева.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Поступило 23 III 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. А. Баландин, А. М. Рубинштейн, ЖФХ, 6, 576 (1935). ² А. А. Баландин, Е. И. Клабуновский, ДАН, 98, 783 (1954). ⁸ С. Тhопоп, Ј. С. Јипдегѕ, Bull. Soc. Chim. Belg., 58, 331 (1949); 59, 604 (1950). ⁴ А. А. Баландин, П. Тетени. ДАН, 113, № 5, 1090 (1957). ⁵ А. Е. Агрономов, Рестн. МГУ, 6, № 2, 109 (1951). ⁶ А. А. Баландин, ЖОХ, 12, 153 (1942). ⁷ А. А. Баландин, ЖОХ, 12, 160 (1942). ⁸ А. А. Толстопятова, А. А. Баландин, Э. М. Дмитриев. Изв. АН СССР, ОНХ, 1956, 1404. ⁹ А. А. Баландин, ДАН, 63, 33 (1948). ¹⁰ А. Х. Борк, Сборн. работ пофиз. хим., Изд. АН СССР, 1947, стр. 168.

RHMHX

Б. А. ДОЛГОПЛОСК, Л. М. РОМАНОВ, Б. Л. ЕРУСАЛИМСКИЙ и В. Я. БОГОМОЛЬНЫЙ

КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ МАГНИЙГАЛОГЕНАЛКИЛОВ И ЧЕТЫРЕХХЛОРИСТОГО ТИТАНА ДЛЯ СИНТЕЗА АМОРФНЫХ И КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРОВ ИЗ α -ОЛЕФИНОВ И ДИЕНОВ

(Представлено академиком И. Н. Назаровым 25 IV 1957)

Получение полимеров из алифатических соединений ряда этилена на снове инициирования полимеризации свободными радикалами возможно олько для первого представителя этого ряда — этилена. Взаим**одействие** зободных радикалов с гомологами этилена приводит к образованию низкоолекулярных продуктов за счет реакций обрыва на первых стадиях развития процесса (¹). Циглер с сотрудниками использовали для иниции**рова**пия полимеризации этилена реакцию между алюминийорганическими содинениями и четыреххлористым титаном (²). Дальнейшие исследования з этой области (³) привели к открытию возможности инициирован**ия поли**иеризации олефинов, сопровождающейся образованием однородно построенных (изотактических) полимеров. Позднее было показано, что **алюминий**рганические соединения в катализаторе Циглера могут быть заменены на ругие металлорганические производные, в частности на соединения нария и лития. Например, системы С₍H₅Na—TiCl₄ или С₄H₉Li—TiCl₃ также возбуждают полимеризацию этилена (4,5). Механизм этих реакций пока ще нельзя считать установленным. Известно, что реакция между компонентами катализатора Циглера носит окислительно-восстановительный карактер и приводит к образованию производных титана более низких тепеней валентности (6). Наряду с этим отмечается образование углеводородов, например этана и этилена в случае использования триэтилалюминия. Весьма близкие явления наблюдаются также при взаимодействи**и между** солями тяжелых металлов и магнийорганическими соединениями.

Н. В. Кондырев и Д. А. Фомина (7), которым принадлежит первая работа в данной области, показали, что реакция между магнийгалогеналкипами и солями различных металлов (железа, меди, кобальта, никеля, хрома, молибдена) приводит к образованию: а) эквивалентных количеств насыщенного и ненасыщенного углеводородов, отвечающих алкилу магнийорганического соединения, и б) восстановленных форм тяжелых металлов. Дальнейшее изучение этих реакций (8-10) привело к заключению, что они протекают через стадию образования неустойчивых органических соединений тяжелых металлов, разложение которых чаще всего рассматривается как свободнорадикальный процесс. На этом основании казалось вероятным, нто реакция между магнийгалогенорганическими соединениями и четыреххлористым титаном позволит прийти к результатам, аналогичным тем, когорые были достигнуты Циглером и Натта на примере алюминийорганинеских соединений. Необходимо указать, что в реакциях рассматриваемого гипа значительную роль играют комплексообразующие агенты (эфиры, ульфиды, кислород), которые способны оказывать существенное влияние на ход процесса полимеризации и наструктуру цепи. Как известно, магнийорганические соединения дают прочные комплексы с эфиром, которые раз рушаются только при условии длительной термической обработки при 150°. Нами установлено, что взаимодействие магнийорганических соеди, нений типа R—MgHal c TiCl, приводит к образованию каталитических ком плексов, эффективно инициирующих полимеризацию мономеров толька при условии предварительного полного освобождения производных маг ния от эфира, что показано на магнийхлорэтиле, магнийбромэтиле и магний бромоктиле. В экспериментальном отношении удобно пользоваться магний органическими соединениями в виде дисперсии в парафине. Для получени, последней процесс разрушения эфирного комплекса проводится в средпарафина, что приводит к образованию тонкой дисперсии, весьма устойчи вой к влаге и не теряющей длительное время своей активности при хранени

Эффективность системы R—MgHal—TiCl4 для инициирования процесс полимеризации была нами показана на этилене, пропилене, стироле 🖫 изопрене. Полимеризация этилена осуществляется без применения давлег ния и внешнего обогрева. Реакция начинается почти сразу после начал: пропускания этилена через суспензию магнийорганического соединени: в бензине, содержащем небольшое количество четыреххлористого титана Полученный таким образом полиэтилен имеет $[\eta]=2,55$ (измерено в дека лине при 135°), т. пл. 130—138°, прочность на разрыв 335 кг/см² и относка тельное удлишение 730%. Приведенные показатели аналогичны тем, кото рыми обладает полиэтилен, полученный с помощью обычного катализатор: Пиглера. Большой интереспредставляют данные, установленные нами пр полимеризации пропилена. В одной из работ Натта (11) указано, что заменя алюминийорганических соединений в катализаторе Циглера на магнийор ганические исключает возможность получения изотактических полимеро из α-олефинов.

Как показано нами, при полимеризации пропилена в присутстви магнийхлорэтила и четыреххлористого титана образуется примерно равно: количество аморфной и кристаллической (изотактической) форм полимера Аморфная форма, растворимая в эфире, имеет температуру стекловани -35° и $[\eta]=0,57$ (в бензоле). Наряду с ней выделена фракция, нераство римая в кипящем гексане, кристалличность которой доказана даннымы спектроскопического и рентгеноструктурного анализа.

Различные формы полимеров были выделены также в случае полимери зации изопрена. При проведении полимеризации последнего под влияние: тех же компонентов были получены: 1) фракция, растворимая в бензоле содержащая 87% цис-1,4-звеньев, и 2) нерастворимая форма, содержащая

по данным и.-к. спектра, только транс-1,4-звенья *.

Одновременное получение цис-1,4-полиизопрена и транс-1,4-полиизст прена или аморфного и изотактического полипропилена является прямын указанием на то, что в системе сосуществуют каталитические комплекси различного типа, приводящие к образованию специфической для данног комплекса структуры полимера.

Экспериментальная часть

Синтез магнийгалогеналкилов. Для получения маг нийорганических соединений, свободных от эфира, использовалась метс дика, описанная Гриньяром (12), в соответствии с которой от эфирного ра створа органического производного магния отгонялся растворитель и оста ток подвергался 30-часовому нагреванию при 150—160° в вакууме (10 мм) Образующаяся белая пористая масса измельчалась в токе сухого азота Для получения дисперсии магнийорганического соединения в парафине

на воздухе.

^{*} Спектроскопическое и рентгеноскопическое исследования полимеров осуществлен Е. И. Покровским и Л. А. Волковой 732

оследний вводился в реакционную колбу после отгонки основной массы

истворителя.

Полимеризация этилена. В суспензию магнийхлорэтила TiCl₄ в бензиновой фракции (т. кип. 90—110°) при интенсивном переменивании барботировался тщательно просушенный этилен. Начальная темература 20°. В конце процесса температура повысилась до 50°. Обрыв роцесса полимеризации на определенной стадии достигается добавлением пирта.

Полимеризация пропилена. Реакция проводилась в автолаве емкостью 1,5 л, снабженном мешалкой, при загрузке 500 мл бензина необходимого количества магнийхлорэтила и TiCl₄. Давление 6—9 атм.

Іродолжительность реакции при 80° 1 час. Выход полимера 115 г.

Полимеризация изопрена. В 4-литровый автоклав с меналкой было загружено: 1 л бензина, магнийхлорэтил, TiCl₄ и 0,5 л изорена. Продолжительность реакции 1 час при 70—80°. Выход полимера 00 г. Фракция, растворимая в бензоле (63% от общего количества), содеркит цис-1,4-звеньев 87%, транс-1,4-звеньев 5%, 1,2-звеньев 3% и 3,4-женьев 5%. Нерастворимый полимер (37%) представляет собой 100%-й "4-транс-полиизопрен.

Полимеризация стирола. 20 г стирола интенсивно перенешивались с раствором 0,4 г ТіСl4 в 60 мл бензина, содержащем в виде успензии 0,5 г магнийхлорэтила, при 60° в течение 1 часа. Выход поли-

пера количественный.

Институт высокомолекулярных соединений Академии наук СССР Поступило 22 III 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Е. Б. Миловская, Б. А. Долгоплоск, Б. Л. Ерусалимский, Изв. АН СССР, ОХН, 1957, 494. ² К. Ziegler, Е. Holzkamp, Н. Breil, Н. Martin, Zs. angev. Chem., 67, 541 (1955). ³ G. Natta, J. Polymer. Sci., 16, 213 (1955). ⁴ С. Nenitzescu, Zs. angew. Chem., 68, 438 (1956). ⁵ R. S. Aries, Rub. Age, 79, 812 (1956). ⁶ G. Natta, Zs. angew. Chem., 68, 393 (1956). ⁷ H. B. Қондырев, Д. А. Фомина, ЖРФХО, 47, 190 (1915). ⁸ H. Gilman, J. Am. Chem. Soc., 16, 2823 (1924); 61, 957 (1938). ⁹ M. S. Қһагаsһ, J. Am. Chem. Soc., 52, 2919 (1930). ¹⁰ Champetier, Bull. Soc. Chim., 4, 47, 1131 (1930). ¹¹ G. Natta, La Chim. et ¹⁷ Ind., 2, 124 (1956). ¹² V. Grignard, Ann. Cim., 7, 24, 441 (1901).

Академик А. Н. НЕСМЕЯНОВ, Р. Х. ФРЕЙДЛИНА и Е. Ц. ЧУКОВСКАЯ

термическая теломеризация олефинов с силанами, СОДЕРЖАЩИМИ Si — H-СВЯЗЬ

Как нами было показано (1), этилен вступает в реакцию теломериза: ции с метилдих лорсиланом и трих лорсиланом при температуре 270-3004 под давлением, в условиях, обеспечивающих избыток этилена, давая смест веществ строения $XSiCl_{\circ}(CH_{\circ}CH_{\circ})_{n}H_{\circ}$ где $X=Cl_{\circ}$ С H_{3} . Реакция проводилась в стальных автоклавах без добавления катализаторов или инициаторов реакции. Легко вступает в реакцию теломеризации в этих условиях также пропилен с метилдихлорсиланом.

Представляло интерес выяснить, вступают ли в эту реакцию силаны, не содержащие галоида, а также силаны, у которых кремний связан с ароматическим ядром, т. е. возможны ли, например, такисл

реакции:

 $R_3SiH + n CH_2 = CH_2 \rightarrow R_3Si(CH_2CH_2)_n H_1$ где R = Alk; OAlk;

 $ArSiCl_2H + nCH_2 = CH_2 \rightarrow ArSiCl_2(CH_2CH_2)_nH$.

В литературе, касающейся присоединения силанов этого типа по двой з ной связи олефинов, указывается, что в присутствин инициаторов ради! кальных реакций триэтоксисилан вообще не присоединяется по двойной $^{(2)*}$, триэтилсилан также не реагирует, или дает маленький выход грязного продукта (2,4).

Фенилдих лорсилан, по патентным данным (5), реагирует с этиленом

при температуре 200—550° с образованием фенилэтилдихлорсилана.

Нами установлено, что этилен гладко вступает в термическую реакцик теломеризации с фенилдихлорсиланом. При 280° и 90 атм. были получень: соединения состава: $C_6H_5SiCl_2(CH_2CH_2)_n$ H, где n=1,2,3. Реакция эти лена с триэтилсиланом проведена при 300° и 200 атм. Из продуктов реакз ции удалось выделить тетраэтилсилан и триэтил-н-бутилсилан. Полученыя также фракции, содержащие высшие триэтилалкилсиланы.

В случае реакции триэтоксисилана с этиленом при 300° также наблют далось падение давления (от 100 до 35 атм.) и поглощение этилена (22). на 75 г загруженного триэтоксисилана). Однако выделить индивидуаль в ные алкилтриэтоксисиланы не удалссь, так как в условиях реакции, по

видимому, имеет место реакция диспропорционирования.

^{*} По патентным данным (3), триэтоксисилан реагирует с этиленом в присутствии платинированного асбеста, давая с $^{50}\%$ -м выходом этилтриэтоксисилан. 734

Приготовление исходных силанов. (C_1H_5)₃SiH был получен виз C_1H_5 SiCl₂H по реакции Гриньяра, т. кип. $108-109^\circ$; n_D^{20} 1,4115. Литегратурные данные: т. кип. 107° (6); $103,5-104,5^\circ$ (7); n_D^{20} 1,4117 (6); n_D^{20} 1,4100 (7).

Триэтоксисилан синтезирован по методу Хавилла и др. (8). Полугченные для этого соединения константы совпали с литературными

зданными.

Фенилдихлорсилан синтезировался из силикохлороформа и фенилмагнийбромида (⁹). Полученные константы совпадают с литературными данными.

Теломеризация этилена с триэтилсиланом. Реакция проведена в стальном автоклаве емкостью 0.5 л. В автоклав загружали 90 г $(C_2H_5)_3SiH$ и после продувки азотом вводили этилен. Реакционную смесь нагревали до 300° , давление при этом поднималось до 200 атм. Реакцию вели при температуре $300-310^\circ$ в течение 4 час. При этом давление этилена упало до 80 атм. Вес продукта реакции 119 г. Продукт фракционирован на колонке в 15 т. т. При этом отогнано:

а) 60 г исходного триэтилсилана, т. кип. 108—109°; n_D^{20} 1,4112.

б) 15 г тетраэтилсилана, т. кип. 153°; n_D^{20} 1,4246; d_4^{20} 0,7665; $MR_{\rm найд}$ 48,30; $MR_{\rm выч}$ 48,78.

Найдено %: С 66,82; 66,59; Н 13 96; 13,92 $C_8H_{20}Si.$ Вычислено %: С 66,56; Н 13,97

Литературные данные (10): т. кип. 153°; d_4^{20} 0,7662; n_D^{25} 1,4240.

6) 8 г триэтилбутилсилана, т. кип. 89—93°/30 мм; n_D^{20} 1,4360; d_4^{20} 0,7810; $MR_{\rm Ha\"{h}J}$ 57,60; $MR_{\rm EMY}$ 58,08.

Найдено %: С 70.37; 70,31; Н 14.08; 14,08; Si 15,57; 15,57. $C_{10}H_{24}Si.$ Вычислено %: С 70,24; Н 14,03; Si 15,66

Литературные данные (10): т. кип. 192°; n_D^{25} 1,4358; d_4^{20} 0,7786

г) 18,5 г фракция 70—110°/4 мм. Выделить из нее в чистом виде гексил- и октилтриэтилсиланы не удалось, очевидно из-за присутствия примесей продуктов реакции диспропорционирования. Остаток 11 г.

Теломеризация этилена с фенилдихлорсиланом. Реакция проведена в автоклаве емкостью 0,15 л из стали ЭЯ-1Т. В автоклав загружали 35 г $C_6H_5SiCl_2H$ и после продувки азотом вводили этилен. Реакционная смесь нагревалась до 280°, давление при этом поднималось до 90 атм. Реакцию вели при температуре $280-300^\circ$ в течение 3 час. При этом давление этилена падало до 60 атм. Получено 43 г продукта. Продукт разогнан на колонке в 15 т. т. При этом выделены следующие фракции:

Фракция I: т. кип. $104-107^{\circ}/20$ мм, вес 14 г, n_D^{20} 1,5170

Фракция II: т. кип. $78-83^{\circ}/3$ мм, вес 4,7 г, n_D^{20} 1,5140

Фракция III: т. кип. $98-104^{\circ}/3$ мм, вес 3 г, n_D^{20} 1,5100

Остаток 11 г.

При повторной перегонке выделены в индивидуальном виде фенилэтилдихлорсилан, фенилбутилдихлорсилан и фенилгексилдихлорсилан из I, II и III фракций, соответственно. Эти вещества на свету быстро краснеют

и легко гидролизуются на воздухе. Свойства и анализ полученных соединений сведены в табл. 1.

Таблица 1

Анализ и физические константы $C_6H_5SiCl_2(CH_2CH_2)_nH$

			М	MR		C, % H, %			Si, %		C1, %		
n	n_D^{20}	d_4^{20}	найд.	выч.	Т. кип., °С/мм	выч.	найд.	выч.	найд.	выч.	найд.	выч.	найд.
2 1,	,5140	1,1490 1,1181 1,0832	54,12 62,80 72,15	54,12 63,42 72,72	84/7 90—91/3 115—118/3	46,83 51,49 55,12	47,17 47,18 51,11 50,94 55,17 55,26	1,89 6,05 7,07	4,98 5,18 6,10 6,26 6,90 7,13	13,62 30,41 27,13	33,63 13,24 31,68 30,78 26,94 27,08	34,56 12,05 10,75	34,44 34,00 12,05 11,68 10,83 10,26

^{*} Литературные данные: т. кип. 134—135,5°/5 мм (4), 225—235° (12).

Институт элементоорганических соединений Академии наук СССР Поступило 5 VII 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. Н. Несмеянов, Р. Х. Фрейдина, Е. Ц. Чуковская, ДАН, 112, 271 (1957); 113, 120 (1957). ² Е. Pietrutza, L. Sommer, F. Whitmore, J. Am. Chem. Soc., 70, 484 (1948). ⁸ G. Wagner, C. Strother, Ahrл. пат. 670617. ⁴ D. Seyferth, E. Rochow, J. Ogg. Chem., 20, 250 (1955). ⁵ А. J. Barry, D. E. Hook, L. De Pree, Am. пат. 2510853; Chem. Abstr., 44, 8933 c (1950); Ahrл. пат. 632 824, Chem. Abstr., 44, 5378 (1950). ⁶ F. Whitmore, E. Pietrutza, L. Sommer, J. Am. Chem. Soc., 69, 2108 (1947). ⁷ H. Gilman, R. Ingham, A. Smith, J. Org. Chem., 18, 1743 (1953). ⁸ M. Havill, J. Joffe, H. Post, J. Org. Chem., 13, 280 (1948). ⁹ A. J. Barry, Ahrл. пат. 618403; Chem. Abstr., 43, 5801 (1949). ¹⁰ F. Whitmore, L. Sommer et al., J. Am. Chem. Soc., 68, 475 (1946). ¹¹ R. F. Flemming, Am. пат. 2386452; Chem. Abstr., 40, 6039 (1946).

ХИМИЯ

К. Б. ПИОТРОВСКИЙ и М. П. РОНИНА

ОБ АССОЦИАЦИИ ЛИТИЙОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ЖИРНОГО РЯДА В РАСТВОРАХ УГЛЕВОДОРОДОВ

(Представлено академиком А. Н. Несмеяновым 10 IV 1957)

При определении молекулярного веса литийфенила и литийбензила в растворах эфира эбулиоскопическим методом Виттиг, Мейер и Ланге (¹) нашли, что указанные соединения образуют «автокомплексы» общей формулы:

$[LiR_2]^-Li^+$.

Мы поставили перед собой задачу выяснить, способны ли к подобному комплексообразованию литийорганические соединения жирного ряда в растворах углеводородов. С этой целью был определен молекулярный вес литийэтила и литийбутила криоскопическим методом. В качестве растворителя были применены бензол и циклогексан такой степени чистоты, которая предъявляется к этим растворителям при криоскопических измерениях. Литийэтил и литийбутил синтезировались в этих же растворителях по известной методике, основанной на взаимодействии соответствующего хлорпроизводного с металлическим литием (2).

После проведения синтеза растворы литийэтила и литийбутила под током азота, свободного от кислорода, переводились в сосуды Шленка, снабженные мерной бюреткой (с ценой деления 0,1 мл) и кранами. Концентрация литийорганических соединений в растворе определялась двойным титрованием (3). Специальными определениями было установлено, что в бензольных растворах литийэтила и литийбутила хлористый литий практически отсутствовал, и его содержание на превышало 0,1—0,5 вес. % в пересчете на литий

В работе применялись растворы, имеющие для литийэтила нормальность ~ 0.6 и для литийбутила 0.6-0.8. Учитывая большую чувствительность литийорганических соединений к влаге и кислороду, все криоскопические определения мы проводили в специальном криоскопе, исключающем соприкосновение рабочих растворов с внешней атмосферой. Криоскоп имел пришлифованную пробку с термометром Бекмана (цена деления 0.01°) и был снабжен двумя кранами, которые позволяли вводить растворы литийорганических соединений под током азота. Криоскоп помещался в воздушную стеклянную рубашку, а весь прибор во время измерений находился в Дьюаровском сосуде, в котором поддерживалась температура $+1^\circ$. Перемешивание раствора осуществлялось электромагнитной мешалкой. Перед началом определений криоскоп подвергался тщательной предварительной обработке для удаления окклюдированных стеклом газов и паров. Это достигалось путем длительной тренировки прибора под вакуумом при нагревании с последую-

щей продувкой азотом, очищенным от кислорода и влаги. Для определения молекулярного веса в приготовленный таким образом криоскоп вводилось 30 мл растворителя (с точностью до 0,1 мл) из сосуда Шленка, в котором тщательно очищенный растворитель хранился над про-

волокой металлического натрия.

органическое соединение.

После определения температуры замерзания чистого растворителя в кридоскоп из сосуда Шленка под током азота вводился раствор литийорганического соединения (в том же растворителе) в количествах, обеспечивающих:

Таблица 1 Данные по определению молекулярного веса литийэтила в бензоле

		Концентрация LiC ₂ H ₆ , мол. на 1000 г бензола	Опъ	ыт 1	Om	ыт 2
Количество бензола, мл	Количество введенного ${\rm LiC_2H_5}, {\rm мол.}$		депрессия, °С	М найд. для LiC₂Н₅	депрессыя, °С	М найд. для LiC₂H₅
31,9 32,9 34,4 36,5 40,2 47,5 55,0 69	0,001178 0,001698 0,002728 0,004030 0,006324 0,010850 0,015500 0,024180 0,027900	0,042 0,059 0,091 0,126 0,180 0,261 0,313 0,401 0,425	0,11 0,17 0,24 0,34 0,50 0,72 0,87 0,96 0,99	68,4 63,3 68,9 67,7 65,6 66,2 67,6 76,1 78,3	0,10 0,15 0,22 0,33 0,49 0,70 0,87 1,01	77,0 71,8 76,9 70,0 65,3 68,7 67,6 70,9

получение заданной концентрации литийорганического соединения для

определения молекулярного веса.

После окончания определяется температура замерзания раствора литийорганического соединения данной концентрации, криоскоп вынимался из
Дьюаровского сосуда, и в него вводилось дополнительное количество
раствора литийалкила. Таким образом, по ходу опыта общее количество
растворителя вся время увеличивалось, что учитывалось при расчете молекулярного веса. По окончании опыта определялось количество литийорга-

Таблица 2 Данные по определению молекулярного веса литийбутила в бензоле

		Концентрация LiC ₄ H ₉ , мол, на 1000 г бензола	Опя	ыт 1	Опі	ыт 2
Количество бензола, мл	Количество введенного LiC ₄ H ₉ , мол.		депрессия, •С	М найд. для LiC₄H₃	депрессия, °С	<i>М</i> найд. для LIC₄ H •
31,0 32,5 34,0 36,0 39,0 42,0 45,0 48,0 58,0 68,0	0,00088 0,00220 0,00352 0,00528 0,00792 0,01056 0,01320 0,01584 0,02464 0,03344	0,032 0,077 0,118 0,168 0,227 0,287 0,335 0,377 0,486 0,562	0,08 0,19 0,26 0,37 0,51 0,63 0,73 0,83 1,07 1,22	131,7 132,2 147,7 147,1 147,8 148,4 149,1 147,5 147,3 149,3	0,08 0,20 0,28 0,40 0,53 0,66 0,75 0,87 1,08 1,23	131,7 125,6 137,0 136,1 142,2 141,3 142,5 140,9 146,3 149,0

нических соединений (3), которое во всех случаях составляло 99—99,5% от введенного по ходу определения. Расчет молекулярного веса производился по общепринятой формуле: $M=\frac{E\cdot c\cdot 1000}{L\cdot d\cdot \Delta}$. Криоскопическая константа для бензола была принята, согласно литературным данным, 5,07, а для циклогексана 20,2. Удельный вес бензола и циклогексана был определен для применяемых образцов и соответственно равнялся 0,875 и 0,777. Данные по определению молекулярных весов литийэтила в растворе бензола и литийбутила в растворе бензола и циклогексана приведены в табл. 1—3.

Как видно из приведенных в таблицах данных, литийэтил в растворе бензола находится в ассоциированном состоянии в интервале концентраций 0,04—0,4 моля на 1000 г растворителя. При этом найденный экспериментально молекулярный вес практически соответствует удвоенному рассчитанному молекулярному весу. Литийбутил в растворах бензола (при интервале

. Таблица 3 Данные по определению молекулярного веса литийбутила в циклогексане

		Концентрация LiC₄H ₉ , мол. на 1000 г циклогексана	Опъ	ыт 1	Огыт 2		
Количество бєнзола, мл	введєнного		депрессия, •С	М найд. для LiC₄H.	депрессия, °С	М найд. для L1С₄Н₃	
31,0 32,5 34,0 36,0 39,0 42,0 45,0	0,00081 0,00203 0,00324 0,00486 0,00729 0,00972 0,01215	0,032 0,080 0,123 0,174 0,241 0,298 0,348	0,26 0,59 0,93 1,32 1,81 2,24 2,66	167,4 175,2 170,6 170,3 172,0 172,0 169,1	0,29 0,62 0,90 1,28 1,80 2,19 2,63	150,1 167,1 176,4 175,6 173,0 176,0 171,0	

концентраций от 0,03 до 0,55 моля на 1000 г растворителя) и циклогексана (при интервале концентраций от 0,03 до 0,35 моля на 100 г растворителя) также находится в ассоциированном состоянии, но найденный экспериментально молекулярный вес литийбутила несколько превышает удвоенный рассчитанный молекулярный вес.

Таким образом, проведенной работой показано, что литийорганические соединения жирного ряда в растворах углеводородов находятся в ассоции-

рованном состоянии, которое соответствует димерной форме.

Научно-исследовательский институт синтетического каучука им. С. В. Лебедева

Поступило 10 IV 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ G. Wittig, F. J. Meyer, G. Lange, Lieb. Ann., 571, 167 (1951). ² K. A. Kочешков, Т. В. Талалаева, Синтетические методы в области металлоорганических соединений лития, натрия, калия, рубидия и цезия, Изд. АН СССР, 1949, стр. 26. ³ H. Gilman, A. H. Haubein, J. Am. Chem. Soc., 66, 1515 (1944).

ХИМИЯ

Академик А. Р. ТОПЧИЕВ, И. А. МУСАЕВ и Г. Д. ГАЛЬПЕРН

О ХИМИЧЕСКОМ СОСТАВЕ БЕНЗИНОВ ТЕРМИЧЕСКОГО И КАТАЛИТИЧЕСКОГО КРЕКИНГА*

Знание природы непредельных и других групп углеводородов, входящих в состав крекингпродуктов, представляет большой интерес. В настоящее время недостаточно ясен вопрос о влиянии химического состава исходного сырья, используемого при различных способах термической переработки, на состав и строение непредельных и других групп углеводородов, образующихся в этих процессах. Выяснение указанного вопроса приблизит нас к рациональному подбору сырья для получения светлых нефтепродуктов заданного качества и откроет ряд возможностей для нефтехимического синтеза. Исследование состава продуктов крекинга встречается со специфическими трудностями.

Впервые для исследования детализированного группового химического состава крекингбензинов Н. Д. Зелинским и Р.Я. Левиной был предложен комбинированный метод, сочетающий сернокислотную обработку с гидро-

и дегидрогенизационным катализом (1,3).

Для селективного гидрирования непредельных углеводородов под давлением водорода в присутствии ароматических (не содержащих сернистых соединений) нами был предложен медный катализатор ($^{4-6}$). В дальнейшем этот метод Глушневым и Непряхиной был применен для исследования химического состава бензинов окислительного крекинга (7 , 8).

Г. М. Мамедалиевым (9) для вышеуказанной цели предложен в качестве катализатора никель на кизельгуре. Гидрирование непредельных соединений проводилось под атмосферным давлением и при различных температурах —

в зависимости от температуры кипения фракции.

В настоящем исследовании применен комбинированный метод, включающий: 1) сернокислотную методику определения суммарного содержания непредельных и ароматических соединений (сульфирование проводилось раствором Катвинкеля**, охлажденным ледяной водой);2) определение процентного содержания непредельных углеводородов во фракциях по йодному числу и молекулярному весу, 3) селективное гидрирование непредельных углеводородов, при давлении в 80 атм. водорода и при 280—300° на лабораторной установке в пробирочных автоклавах (10), 4) дегидрогенизационный катализ, для установления природы цикланов (как непредельных, так и предельных), 5) методику анилиновых точек, для определения группового состава фракций, не содержащих непредельных. Объектом настоящего исследования взяты пресдистиллаты термического и каталитического крекинга, полученные из одинаковой грозненской парафинистой нефти, на Грозненском нефтеперерабатывающем заводе.

Для определения йодных чисел во всех случаях применялся метод

Кауффмана—Гальперна (11).

^{*} Экспериментальная часть работы выполнена при участии Э, Г. Исхаковой, Т. В. Федоровой, Т. Н. Бутурловой и Н. Н. Чекаловой. ** 30 г P_2O_5+100 мл H_2SO_4 , d=1.84.

Исследование бензина термического крекинга. Заводской бензин после сушки разгонялся на колонке эффективностью 30 т. т. в слабом токе азота на стандартные фракции.

В табл. 1 приводятся выходы и характеристики фракций. На разгонку

взято 605,0 г.

Полученные фракции для исследования делились на две части; одна часть исследовалась сернокислотным мегодом, а вторая часть сначала под-

Таблица 1

№ фрак- ции	Температура, °С	ы <u>Т</u>	ход %	n_D^{20}	d_{4}^{20}	А. т. макс.	Йодное число	<i>МВ</i> средн.
0 1 2 3 4 5 6	23—60 60—95 95—122 122—150 150—200 выше 2C0 потери	31,7 66,3 74,3 85,5 144,5 181,0 21,9	10,9 12,3 14,1 23,6 29,9 3,9	1,3740 1,4038 1,4200 1,4330 1,4505	0,7089 0,7475 0,7706	41,5 40,9 42,5	163,2 134,5 120,1 97,9 70,9	91,0 105,0 116,0 144,0

вергалась селективному гидрированию непредельных соединений над медным катализатором. После сульфирования и отгонки от полимеров нафтенопарафиновый остаток подвергался исчерпывающему дегидрированию над платино-железным катализатором (12), приготовленным по описанному ранее способу (13).

Содержание ароматических (первичных), гексметиленовых (после дегидрирования) и пентаметиленовых углеводородов определялось анилиновым

методом; содержание парафиновых — по разности.

Таблица 2

			Нет редельные				Предельные			
фрак-	к- °C хол.	вы- ход, %	гекса- метил	пєнта- метил	арома- тическ.	ацик- лическ.	арома- тическ.	гекса- метил	пснта- метил	пара- финов.
1	60—95	18	4,6 0,8	$\frac{11,8}{2,1}$		$\frac{34,1}{6,1}$	4,7	$\frac{5,1}{0,9}$	$\frac{5,9}{1,1}$	$\frac{33,8}{6,1}$
2	95—122	20	$\frac{7,2}{1,4}$	$\frac{16,7}{3,3}$	$\frac{1,2}{0,2}$	$\frac{24,5}{4,9}$	$\begin{array}{c} 9,3 \\ \hline 1,9 \end{array}$	$\frac{10,4}{2,1}$	$\frac{6,4}{1,3}$	$\frac{24,3}{4,9}$
3	122—150	23	$\frac{8,3}{1,9}$	$\frac{13,0}{3,0}$	$\begin{array}{c c} 2,3 \\ \hline 0,5 \end{array}$	$\frac{21,3}{4,9}$	$\frac{13,3}{3,0}$	$\frac{8,7}{2,0}$	$\frac{7,4}{1,7}$	$\frac{25,7}{5,9}$
4	150200	39	8,1 3,1	$\begin{array}{ c c }\hline 9,0\\\hline 3,5\\ \end{array}$	$\frac{1,8}{0,7}$	$\frac{21,4}{8,3}$	$\begin{array}{ c c }\hline 13,9\\ \hline 5,4 \end{array}$	$\frac{8,8}{3,4}$	$\begin{array}{c c} 6,4\\ 2,5 \end{array}$	$\frac{30,6}{11,9}$

Примечание. Над чертой—содержание углеводородов в вес. %, под чертой—в вес. % по отношению к целому бензину $60-200^\circ$.

В табл. 2 помещены окончательные данные по содержанию углеводородов разных групп в бензине термического крекинга в стандартных фракциях

с пересчетом на целый бензин 60—200°.

Исследование бензина каталитического крекинга. Аналогичным способом были исследованы фракции бензина каталитического крекинга. В табл. 3 приводится характеристика исходных фракций. На разгонку взято 1262 г.

На основании сернокислотно-анилинового метода селективного гидрирования непредельных углеводородов и дегидрогенизации шестичленных нафтенов установлен детализированный групповой химический состав бензина каталитического крекинга (60—200°) и его фракций. Окончательные результаты приводятся в табл. 4.

Таблица 3

No	Температу-	Вы	Выход		d_4^{20}	А. т.	Йодное	MB	
фрак-	pa, °C	Г	%	n_D^{20}	4	макс.	число	средн.	
0123456	до 60 60—95 95—122 122—150 150—200 выше 200 потери	249,3 222,5 125,8 130,0 258,0 254,0 22,4	19,6 17,7 9,9 10,5 20,4 20,1 1,8	1,3649 1,3990 1,4249 1,4499 1,4709	0,6383 0,7094 0,7592 0,7978 0,8324 —	46,0 51,0 41,8 26,5 24,5	30,2 33,9 28,7 17,0 13,0	98,3 99,6 103,2 140,7	
1	Bcero	1262,0	100,0						

Комбинированным методом исследовался уточненный групповой состав: бензинов термического и каталитического крекинга, полученных из одной и той же парафинистой Грозненской нефти. При этом показано, что для фракций 60-200° бензина термического крекинга характерно высокое содержание непредельных углеводородов (44,7%), с преобладанием ацикли-

Таблица 4

No	Температура, Вы-			Непредельные				Предельные			
фрак- ции	рак-	ход, %	гекса- метил	пєнта- мєтил	арома- тическ.	ацик- лическ.	арома- тическ.	гєкса- метил.	пєнта- метил.	пара- финов ⊷	
1	60—95	30	$\frac{0.4}{0.1}$	$\frac{6,5}{1,9}$		$\frac{9,1}{2,7}$	5,1 1,5	4,7	18,3 5,5	$\frac{55,9}{16,8}$	
2	95—122	17		$\frac{7,0}{1,2}$	$\begin{array}{ c c }\hline 2,5\\\hline 0,4\end{array}$	$\frac{3,3}{0,5}$	$\frac{16,5}{2,8}$	$\frac{16,8}{2,9}$	$\frac{15,0}{2,6}$	$\frac{38,9}{6,6}$	
3	122150	18		5,3 1,0		$\frac{6,3}{1,1}$	$\frac{42,6}{7,7}$	$\frac{12,7}{2,3}$	$\frac{7,7}{1,4}$	$\frac{25,4}{4,5}$	
4	150—200	35	$\frac{2,0}{0,7}$	$\frac{1,2}{0,4}$	$\begin{bmatrix} 0,7\\ \overline{0,2} \end{bmatrix}$	$\frac{3,1}{1,1}$	$\frac{60,3}{21,1}$	$\frac{6,8}{2,4}$	$\frac{4,4}{1,5}$	$\frac{21,5}{7,5}$	

Примечание. Над чертой — содержание углеводородов в вес. %, под чертой в вес. %, по отношению к целому бензину 60-200°

ческих (24,2%). Установлены в заметной концентрации непредельные угле-

водороды ряда циклогексенов (7,2%) и циклопентенов (11,9%).

Сравнительно высокое содержание парафинов (28,8%) по всем фракциям близко к содержанию ациклических непредельных. Аналогичным образом исследованный бензин каталитического крекинга показал, что для фракций $60-200^{\circ}$ характерны: малое содержание непредельных углеводородов, представленных почти в равной мере ациклическими (5,4%) соединениями и соединениями с пятичленным циклом (4,5%) при почти полном отсутствии непредельных с шестичленными циклами (0,8%). Содержание парафиновых углеводородов значительно превышает содержание олефинов; содержание ароматических углеводородов резко возрастает с возрастанием температуры. отбора и достигает 60% для фракции 150—200°.

В обоих исследованных бензинах отсутствуют диеновые углеводороды сопряженней связью. Исследования по разработке комбинированного этода изучения структурно-группового и индивидуального углеводордного ссстава продуктов крекинга продолжаются.

Институт нефти Академии наук СССР Поступило 9 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Н. Д. Зелинский, Р. Я. Левина, ЖПХ, 6, 20 (1933). ² Н. Д. Зелинский, Р. Я. Левина, Нефт. хоз., № 9, 47 (1934). ³ Р. Я. Левина, Уч. зап. МГУ, 3, химия, 241 (1934). ⁴ И. А. Мусаев, Г. Д. Гальперн, ЖПХ, 7, № 4, 572 (1939). ⁵ И. А. Мусаев, ДАН, 96, № 6, 1097 (1949). ⁶ И. А. Мусаев, АН, 80, № 5, 759 (1951). ⁷ В. Е. Глушнев, А. В. Непряхина, Тр. Инст. фти АН СССР, 4, 31 (1954). ⁸ В. Е. Глушнев, А. В. Непряхина, там же, 38 (1954). ⁹ Г. М. Мамедалиев, Х. Д. Рзаева, Изв. АН АзербССР, № 7, (1952). ¹⁰ И. А. Мусаев, Г. Д. Гальперн, Тр. Инст. нефти АН СССР, 1, ⁴⁴ (1950). ¹¹ Г. Д. Гальперн, Тр. Инст. нефти АН СССР, 4, 116 (1954). ¹² Б. А. Каанский, Г. С. Ландсберг, Определение индивидуального состава бензинов оямой гонки (Инструкция). Инт. орг. хим. АН СССР, 1951 (фонды) ¹³ И. А. Мучаев, Г. Д. Гальперн, ДАН, 88, № 1, 71 (1953).

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Ф. И. ВИЛЕСОВ и академик А. Н. ТЕРЕНИН

ФОТОИОНИЗАЦИЯ ПАРОВ НЕКОТОРЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

В связи с проводимыми в нашей и смежной лабораториях исследова-чаниями по электронике ароматических соединений (1), в особенности наповерхности активных адсорбентов (2), необходимо было получить значения энергии отрыва электронов от молекул этих соединений в газообразном состоянии. Настоящая работа была выполнена в 1956 г., предварительные результаты получены в 1955 г.

Для измерения потенциалов ионизации органических паров были применены следующие фотоэлектрические методы: 1) метод конденсатора, 2) метод ионизационной камеры с газовым усилением, 3) метод счетчика

Гейгера.

Метод конденсатора благодаря работам Ватанабе и его сотрудников (3); получил в последние годы широкое применение. В этом методе ионизационная кювета представляет собой сосуд с двумя плоскими электродами, и которые подается небольшое напряжение (10—20 в). Свет, проходя между электродами, вызывает фотоионизацию исследуемых паров. Ионизационный ток имеет величину порядка $10^{-12} - 10^{-4}$ а и измеряется электросметрическим усилителем.

Во втором методе, который применен нами впервые для измерения по-т тенциалов ионизации паров органических соединений, кювета представлят ла собой ионизационную камеру с газовым наполнением. В качестве расбочего газа использовался водород или аргон. При напряжении между электродами 300—500 в и давлении рабочего газа до 100 мм рт. ст. ионизационная камера давала усиление порядка 100—500. Таким образом, чувствительность этого метода на два порядка больше по сравнению с методом конденсатора.

Конструктивно кювета была выполнена так, что имелась возможность измерять одновременно спектры пропускания исследуемых паров с по-мощью фотоумножителя, облицованного флуоресцирующим экраном из

салицилового натрия.

Метод счетчика Гейгера для изучения фотоионизации впервые было применен в 1951 г. (4), но впоследствии не получил применения, так как результаты этих исследований плохо согласовались с результатами, полученными методом конденсатора, в котором вторичные процессы сведены до минимума. Нами был изготовлен цилиндрический счетчик с торцевым входом, катод которого представлял собой стеклянный цилиндр диаметром 6 см, покрытый полупроводниковым слоем. В качестве рабочего газа в самогасящемся режиме смесь аргона с бензолом или метаном, в несамогасящемся режиме — водород или аргон. Этот метод является наиболее пувствительным, так как позволяет регистрировать каждый акт ионизации.

Источником служила высоковольтная водородная лампа, свет которой поступал в ионизационную камеру через вакуумный монохроматор с вогну-744

той дифракционной решеткой 600 штр/мм, фокусом 1 м, работающей в пормальном падении. Регистрация спектров фотоионизации и пропускания

производилась самописцем типа ЭПП-09.

Для бензола, толуола и n-ксилола фотоионизация измерялась всеми вышеуказанными методами. Было установлено, что все три метода дают

значения ионизационных потенциалов в пределах погрешностей опыта, сотласующиеся с данными других исследователей по сериям в спектрах поглощения, которые являются в настоящее время наиболее надежными.

При измерении потенциалов фотоионизации груднолетучих веществ (хинон, фенилгидразин, фенол и др.), упругость паров которых при температуре 18° имеет величину порядка $10^{-2} - 10^{-3}$ мм рт. ст., применялся метод счетчи-

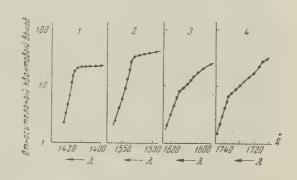


Рис. 1. Кривые фотоионизации: 1 — толуола; 2 — тетраметилбензола; 3 — анилина; 4 — диметиланилина

ка Гейгера, позволяющий регистрировать фотоионизационные токи до 10⁻¹⁹ а.

На рис. 1 приведены некоторые кривые зависимости тока фотоионизации от длины волны действующей радиации. По оси ординат отложены

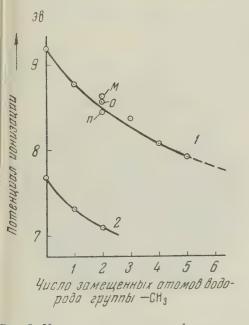


Рис. 2. Изменение потенциалов фотоионизации от количества замещенных атомов водорода в бензоле (1) и в анилине (2)

натуральные логарифмы отношений фотоионизационных токов к количеству поглощенных квантов в относительных единицах. Потенциалы ионизации определялись по излому на этих кривых, что соответствует О — О-переходу из нормального состояния молекулы в нормальное состояние однократно заряженного иона. Ионизация меньшими квантами света вызвана переходами с колебательных уровнормального состояния ней молекулы.

На рис. 1 видно, что квантовый выход фотоионизации для ароматических аминов для длин волн вблизи порога ионизации значительно меньше, чем для других соединений. Согласно принципу Фраанке — Кондона, это должно указывать на то, что межъядерные расстояния в молекулах и соответствующих им ионах значительно отличанотся по величине.

Ниже приводится таблица полученных нами первых потенциалов фото-

Соединение	Потенциалы фотоионизации Å эв		Погреш-	Соединение	Потенциалы фотоинизации Å эв		Погреш-
С ₆ H ₆ С ₆ H ₅ CH ₃ ο-C ₆ H ₄ (CH ₃) ₂ м-С ₆ H ₄ (CH ₃) ₂ м-С ₆ H ₄ (CH ₃) ₂ С ₆ H ₃ (CH ₃) ₃ С ₆ H ₂ (CH ₃) ₄ С ₆ H (CH ₃) ₅ С ₆ H ₅ — NH ₂ С ₈ H ₅ — NH ₂ м-Толуидин С ₆ H ₅ —NH—CH ₃ С ₆ H ₅ —NH—CH ₃ С ₆ H ₅ —NH—CH ₃	1340 1407 1447 1444 1469 1474 1565 1612 1652 1652 1689	9,24 8,81 8,56 8,59 8,44 8,41 8,05 7,92 7,69 7,64 7,50 7,34 7,14	±0,02 ±0,02 ±0,02 ±0,02 ±0,02 ±0,02 ±0,02 ±0,02 ±0,02 ±0,02 ±0,02 ±0,02 ±0,02 ±0,03		1434 1457 1523 1292 1281 1297 1137 1179 1280 1215 1300 1308 1287 1296	8,64 8,52 8,14 9,60 9,67 9,56 10,51 9,71 10,20 9,55 9,47 9,65 9,56	±0,02 ±0,02 ±0,02 ±0,02 ±0,02 ±0,03 ±0,03 ±0,03 ±0,03 ±0,03 ±0,03 ±0,03 ±0,03

На рис. 2 представлена зависимость потенциала ионизации производных бензола (кривая 1) и анилина (кривая 2) от числа атомов водорода, замещенных группой — CH_3 . Плавное уменьшение потенциалов ионизации при увеличении числа замещенных атомов водорода связано с увеличением плотности электронного облака в бензольном кольце.

Ленинградский государственный университет им. А. А. Жданова

Поступило 26 VII 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. Н. Теренин, Радиотехника и электроника, **1**, № 8, 1127 (1956). ² А. И. Сидорова, А. Н. Теренин, Изв. АН СССР, ОХН, № 2 (1950); А. И. Сидорова, ДАН, 77, 327 (1950); А. И. Сидорова, ЖФХ, **28**, 525 (1954); Е. И. Котов, Оптика и спектроскопия, **1**, в. 4, 500 (1956). ³ К. Wetanabe, Phys. Rev., **91**, 1769 (1953); J. Chem. Phys., **21**, 1026 (1953); **22**, 1564 (1954); Е. С. Ү. Іпп, Phys. Rev., **91**, 1195 (1953); Spectrochimica Acta, **7**, 65 (1955).

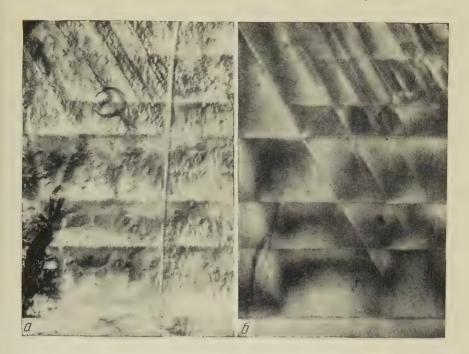


Рис. 4. Дислокации и напряжения в кристалле корунда. Образец вырезан по базису. $52 \times a$ — выявление дислокаций по методу избирательного травления; вертикальный ряд фигур — граница блоков, остальные ряды — линии скольжения; δ — тот же образец в скрещенных поляроидах; линии скольжения окаймлены полосами напряжений

К статье Л. П. Морозова и Н. А. Кротова, стр. 747

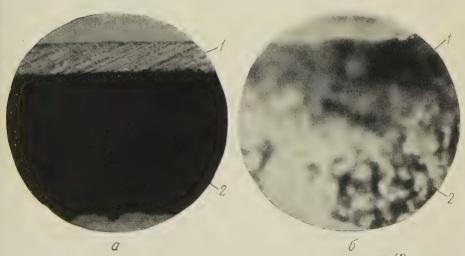
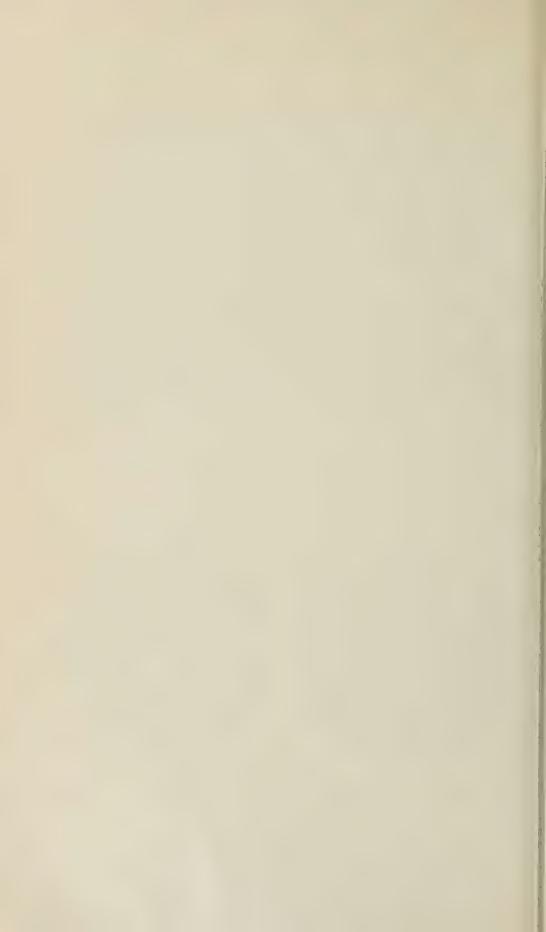


Рис. 2. Микрофотография поперечных срезов систем: a — перхлорвинил (I) — рез ина СКН (2); δ — гуттаперча (I) — парафин (2). $100 \times$



ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Л. П. МОРОЗОВА и Н. А. КРОТОВА

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ РОЛЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ДИФФУЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЯВЛЕНИЯХ АДГЕЗИИ ДВУХ ПОЛИМЕРОВ

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 18 XII 1956)

В предыдущих работах одной из нас (1) были развиты представления электрической теории адгезии. С другой стороны, различными авторами неоднократно высказывались взгляды, касающиеся роли диффузионных процессов при образовании адгезионной и аутогезионной связи (2).

Вследствие дискуссионности вопроса особое значение приобретает экспериментальное исследование образования адгезионной связи, в частности

при соединении двух высокомолекулярных материалов, с целью выяснения относительной роли электрических и диффузионных процессов в явлениях адгезии.

Для решения вопроса о характере адгезионной связи весьма показательной является форма адгезиограммы. Влияние скорости отрыва сказывается сравнительно мало в том случае, если адгезионная связь обусловлена явлениями диффузии. Если же адгезионная связь имеет электрическую природу,

Таблица 1

Работа отрыва A_0 пленок полимеров от различных поверхностей и скорость электронов, эмитируемых в процессе отрыва при $P=10^{-4}$ мм рт. ст. *

Полимер	Подкладка	Скорость электро- нов, эв	A, эксп., эрг/см²	А, рассч. по скоро- сти элект- ронов, эрг/см²
Перхлорви- нил	Латунь Стекло Желатина Резина СКБ (наполнитель каолин)	2,45·10³ 6,25·10³ 1·10⁴ 2,5·10⁴	2,45·10 ⁴ 3,16·10 ⁴ 3,16·10 ⁶ 1,59·10 ⁶	1,04·10 ⁴ 2,52·10 ⁴ 2,82·10 ⁵ 5,63·10 ⁵
Полиизо- бутилен	Желатина	1.104	3,56 • 105	3,17.10

^{*} Опыт производился в вакууме, кривая снималась в области больших скоростей.

адгезиограмма обычно обнаруживает три ясно выраженных участка (3). С помощью роликового адгезиометра нами были сняты адгезиограммы для ряда полимеров (клей типа БФ, полиуретаны, полиамиды, полимеры винилового ряда, каучуки и гуттаперча, эфиры целлюлозы и др.). Адгезиограммы различных комбинаций этих полимеров со стеклом, металлом и с резинами на основе Na-бутадиенового каучука и нитрилакрилового каучука обычно дают три ясно выраженные области. Однако в некоторых случаях имеется только два участка, а третий отсутствует. Весьма вероятно, что он все же имеется, но расположен в области значительных скоростей, экспериментальное определение которых становится затруднительным*.

Скорость эмитируемых при отрыве электронов (4) может дать нам представление о величине градиента потенциалов двойного электрического слоя, так как электроны разгоняются полями, существующими в зазоре между разъединяемыми поверхностями. Определяя скорости эмитируемых электронов, по величине отклонения электронного пучка в магнитном поле, мож-

^{*} В условиях нашего опыта промежутки времени<0,01 сек. не могли быть измерены.

но, вычислив σ из экспериментальных данных и кривой Пашена, рассчитать работу отрыва A и сравнить эту величину с экспериментально механическим путем определенной величиной A_0 (табл. 1). Из таблицы следует, что чем выше скорость эмитируемых электронов, тем больше адгезия системы.

В одной из последних наших работ (5) было установлено, что в пленке полимера после отрыва имеются центры эмиссии, причем эмитируют отдель-



Рис. 1. Эмиссия с участков пленки (1) перхлорвинила, которые были связаны с механически обработанной поверхностью металла (латуни), т. е. с глубокими бороздками на металле

ные участки пленки, имевшие наиболее тесный контакт с подкладкой. Общеизвестно, что механическая обработка поверхности подкладки приводит к увеличению прочности склеивания, что обычно объясняется увеличением поверхности контакта*. Поэтому для нас представляло

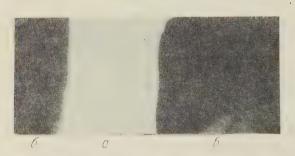


Рис. 3. Электронная эмиссия с поверхности резин при отрыве от них пленки гуттаперчи. a — резина с наполнителем каолином, 6 — резина с наполнителем сажей

определенный интерес исследовать, действительно ли интенсивность эмиссии оторванной пленки полимера будет повышенной в тех участках, где последняя контактировала с механически обработанной поверхностью. С этой целью на поверхности металла (латуни) проводились напильником бороздки, после чего на эту поверхность наносился раствор полимера. Опыт проводился на ваку-

умном роликовом адгезиометре. На спимках ясно видно, что в участках пленки полимера, отрывавшихся от бороздок в металле, электронная эмиссия наиболее интенсивна (рис. 1).

Опыт показывает, что исследовавшиеся нами системы делятся на две большие группы (табл. 2). Первая группа характеризуется электрическими явлениями при нарушении адгезионной связи: свечением в среднем вакууме, электронной эмиссией в высоком вакууме, наличием остаточного заряда на разъединенных поверхностях. Знак заряда определялся с помощью несложной радиометрической схемы, причем во всех случаях наблюдалась

^{*} Однако это явление может объясняться и другими причинами, например, изменением поверхностных свойств механически обработанных поверхностей или утоньшением окисной пленки.

Характер адгезионной связи	Знак остаточного заряда при отрыве на воздухе	Эмитирует при отрыве в вакууме $P = 1 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.	Работа отрыва при v = 1 см/сек*	Тип отрыва
I povezno				
I группа. Электростатическое	Перхлорвинил (—) — сталь (+)	Перхлорвинил	1.04.104	Адгезионный
взаимодействие заря-	Перхлорвинил $(-)$ — стекло $(+)$	"	2,52.104	п
дов двойного электри-		Полиэтилен	4,45.104	17
ческого слоя, образо- ванного на поверх-	(каолин)** Полиэтилен (—) —резина СКН (+)		5,63-104	
ности раздела.	(каолин)	77		27
	Гуттаперча (—) — стекло (+)	Гуттаперча	1,78.105	27
	Поливинил бутираль (—) — резина СКБ (+) (каолин)	Поливинилбу- тираль	2.02.105	29
	Перхлервинил (-) -желатина (+)	Перхлорвинил	2.82.10	
	Полиамид (—) — резина СКБ (+)	Полиамид	3,01 • 105	n
	(каолин) Нитроцеллюлоза (—) — резина	Limborosson	2.40.405	
	CKB (+) (каолин)	Нитроцеллю-	3,16.105	39
	Гуттаперча (—) — сталь (+)	Гуттаперча	3,98 • 105	27
	БФ-6 (—) — резина СКБ (+) (на-	БФ-6	3,98.105	27
	полнитель каолин) Перхлорвинил (—) — резина СКБ	Перхлорвинил	5,63.105	
	_(+) (каолин)			"
	Полиуретан (—) —резина СКБ (+)	Полиуретан	6,32·10 ⁸	77
	(каолин) Гуттаперча (—) — резина СКБ (са-	Гуттаперча	6,52-105	
	жа), обработанная H ₂ SO ₄ (+)	}		"
	Гуттаперча (—) — резина СКН (+)	39	1,05.10	29
	(каолин) Полиами д (—) — резина СКН (+)	Полиамид	1,12.106	
	(каолин)			"
а. Роль электрических явлений не выяснена	Полиэтилен (—) — резина СКБ (+)	Нет эмиссии	4,45-104	99
явлении не выяснена	Поливинил-бутираль (—) — рези-	20 27	1,75-105	
	_ на СКБ (+) (сажа)	, , ,		"
	Полиамид (—) — резина СКБ (+)	39 29	2,84.105	27
	(сажа) Нитроцеллюлоза(—)— резина СКБ		3,04.105	
	(+) (сажа)	, , ,		77
	Перхлорвинил (—) — резина СКБ	77 39	5,41.105	77
	(+) (сажа) БФ-6 (—) — резина СКБ (+) (сажа)		3.87 - 105	
	Полиуретан (-) - резина СКБ (+)	11 10	6,23.106	27
<i>z</i> 1	(сажа)		2.0.406	T/ amount and 18
б. Адгезия>когезии	Нет заряда: Нитроцеллюлоза— резина СКН	J9 72	3,0.106	Когезионный (расслаивается
	(каолин)			резина)
	Перхлорвинил — резина СКН (као-	22 22	3,0.106	То же
	лин) Полиуретан — резина СКН (као-		3,0.106	
	лин)	, ,		77
	БФ-6 - резина СКН (каолин)	27 27	3,0.106	27
	Перхлорвинил — резина СКБ (са- жа), обработанная H ₂ SO ₄	17 11	3,0.106	21
П группа				
Образование адгезион- ной связи путем диф-		. 20 19	1.19.106	Смешанный
фузии сегментов цепей	Полиэтилен — парафин	19 17	5,04.105	77
полимеров	1 Гуттаперча — парафин	l , , ,	5,04.105	, n

^{*} Эта скорость обычно соответствует области, в которой наблюдаются электрические явления у систем I группы.

** Каолин и сажа использовались в качестве наполнителя.

следующая закономерность: поверхность, эмитирующая электроны при отрыве, имела отрицательный знак остаточного заряда, противоположная ей поверхность, не обнаруживавшая эмиссии, несла остаточный заряд положительного знака. Исследование микроскопических срезов (рис. $2\,a\,u\,6$) показывает наличие четкой границы раздела между двумя полимерами этой группы. В некоторых случаях, при особо высокой адгезии, расслаивание происходит по пленке полимера. При этом не обнаруживается ни электронной эмиссии, ни остаточного заряда на разъединенных поверхностях. Работа отрыва весьма высока, причем очевидно работа адгезии больше работы когезии. Подобные системы образованы из компонентов, обладающих сильными полярными группами (например БФ-6 и резина на основе нитрилакрильного каучука, перхлорвинил и резина, поверхность которой обработана концентрированной H_2SO_4 и затем промыта).

Опыт показывает, что большую роль играет характер наполнителя резины. Если одним из компонентов является резина на основе СКБ с сажевым наполнителем, электронной эмиссии при отрыве от нее пленки полимера не наблюдается *, хотя разъединенные поверхности обнаруживают

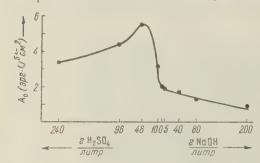


Рис. 4. Влияние обработки поверхности резины (СКБ) кислотой и щелочью различной концентрации на адгезию к ней перхлорвинила

остаточные заряды противоположного знака. При отрыве полимера от той же резины, но с каолиновым наполнителем, наблюдается весьма интенсивная электронная эмиссия (рис. 3).

Существенные отличия представляют собой системы второй группы (рис. 26), образованные из неполярных компонентов. При разъединении компонентов этих систем не наблюдается электронной эмиссии и отсутствует заряд на разъединенных поверхностях.

Микроскопическое исследова-

ние срезов обнаруживает размытость границы раздела. Следует признать, что у систем второй группы адгезионная связь образована путем диффузии цепей полимеров в зоне контакта.

Большую роль в явлениях адгезии играет реакция подкладки, как это показывают наши исследования по адгезии перхлорвинила к резине СКБ. Из рис. 4 следует, что максимум адгезии $A_{\rm 0}$ соответствует резине, обработанной 1 N H₂SO₄.

На разъединенных поверхностях наблюдается остаточный заряд: от-

рицательный на пленке полимера, положительный на резине.

Авторы приносят благодарность члену-корреспонденту АН СССР Б. В. Дерягину за ряд ценных указапий, В. В. Карасеву за ценные советы и постоянную помощь в экспериментальной части работы и В. Р. Вольперту за помощь в получении микросрезов.

Поступило 17 XII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова, Усп. физ. наук, 36, 387 (1948); Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова, Адгезия, Изд. АН СССР, 1949; Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова, Ю. М. Кириллова, ДАН, 97, 475 (1954). ² D. Іоѕе f оw i с z, Н. Маг k, Ind. Rub. World, 33, 106 (1942); С. С. Воюцкий, Ю. Л. Марголина, Усп. хим., 18, 449 (1947); Б. В. Дерягин, Н. А. Кротова, Адгезия, Изд. АН СССР, 1949, стр. 242; С. С. Воюцкий, В. М. Замазнй, Колл. журн., 15, 407 (1953); С. С. Воюцкий, Б. В. Штарх, ДАН, 90, 573 (1953); С. С. Воюцкий, А. И. Шаповалова, А. П. Писаренко, ДАН, 105, 1000 (1955); Б. В. Дерягин, С. К. Жеребков, А. М. Медведева, КЖ, 18, 404 (1956). ³ Н. А. Кротова, Ю. М. Кириллова, Тр. 3-й Всесоюзн. конфер. по коллоидной химии, Изд. АН СССР, 1956, стр. 329; Н. А. Кротова, О склемвании и прилипании, Изд. АН СССР, 1956, етр. 329; Н. А. Кротова, Б. В. Дерягин, ДАН, 88, 777 (1953). ⁵ В. В. Карасев, Н. А. Кротова, Б. В. Дерягин, ДАН, 88, 777 (1953). ⁵ В. В. Карасев, Н. А. Кротова, ДАН, 99, 715 (1954). ⁶ С. С. Воюцкий П. А. Ребиндер, Б. С. Хорошая, С. И. Шур, Тр. Всесоюзн. конфер. по коллоидной химии, Изд. АН УССР, 1950, стр. 215.

Доклады Академии наук СССР 1957. Том 115, № 4

ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Академик А. Н. ФРУМКИН, Б. Б. ДАМАСКИН и Н. В. НИКОЛАЕВА-ФЕДОРОВИЧ

СВЕРХЭКВИВАЛЕНТНАЯ АДСОРБЦИЯ КАТИОНОВ НА ОТРИЦАТЕЛЬНО ЗАРЯЖЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ РТУТИ

Обычно при изложении теории электрокапиллярности предполагается, что среди неорганических ионов только анионы обладают специфической адсорбируемостью, а концентрация неорганических катионов в двойном электрическом слое определяется лишь величиной их зарядов (1). Однако в литературе имеются данные, указывающие на неточностъ подобного вывода. Так, например, в работе Л. М. Штифмана была обнаружена

некоторая сверхэквивалентная адсорбция катиона алюминия (2).

Непосредственный вывод о различной адсорбируемости катионов щелочных металлов в 0.1 N растворах хлоридов вытекает из работы Д. Грэма, определившего точные значения дифференциальной емкости в этих растворах (³). Действительно, при потенциалах более отрицательных, чем -0,7 в (против 0,1 н к. э.), наблюдается увеличение емкости при переходе от лития к цезию, а, следовательно, и увеличение заряда поверхности. Однако, согласно Д. Грэму, различие в заряде пообнаруживаемое при сопоставлении дифференциальных верхности, емкостей, целиком сводится к различию в емкости гельмгольцевской части двойного слоя*. При таком толковании экспериментальных данных Д. Грэма большему отрицательному заряду должно было бы соответствовать более отрицательное значение ψ_1 -потенциала (5). Этот вывод плохо согласуется с экспериментальными данными по влиянию радиуса катиона фона на скорость восстановления анионов. Оказывается, что скорость восстановления анионов $S_2O_8^{--}$ (6) и $S_4O_6^{--}$ (7) резко возрастает в ряду ${
m Li}^+{<}{
m Na}^+{<}{
m K}^+{<}{
m Rb}^+{<}{
m Cs}^+,$ т. е. наблюдается зависимость скорости процесса обратная той, которую естественно было бы ожидать в согласии с выводом Д. Грэма. Более подробное освещение этого вопроса дано в работе А. Н. Фрумкина и Н. В. Николаевой-Федорович (5).

Чтобы избежать противоречия в объяснении экспериментальных данных, проще всего предположить некоторую, хотя и небольшую специфическую адсорбцию катионов с большим радиусом. К этому же выводу приводит изучение температурного коэффициента реакции электровосстановления анионов. Так, в случае восстановления $S_2O_8^-$ на фоне 0,01 N NaCl гемпературный коэффициент этой реакции имеет небольшое положительное значение, на фоне катиона калия той же концентрации он практически равен нулю, а на фоне катиона цезия температурный коэффициент имеет

отрицательное значение (5, 8).

Для проверки предположения о наличии специфической адсорбции катионов были проведены измерения дифференциальной емкости в 0,01 N растворах хлоридов щелочных металлов. Использованная для измерения хема импендансного моста в принципе не отличалась от схем, описанных работах Д. Грэма (9) и В. И. Мелик-Гайказяна (10). Исследуемым элек-

гродом служила висячая ртутная капля.

^{*} В одной из своих работ Д. Грэм указывает, что для объяснения эксперименальных данных по адсорбции катиона Cs⁺ этого предположения, возможно, недостаючно (4).

Полученные данные приведены на рис. 1A, на котором изображены кривые дифференциальной емкости, снятые в $0,01\ N$ растворах хлоридов лития, калия и цезия. Как видно из рисунка, различие в дифференциальной емкости для катионов с различными радиусами наблюдается здесь не только при значительных отрицательных потенциалах, но и вблизи точки нулевого заряда, где на кривых емкости имеется минимум. Действительно, при переходе от лития к цезию разница в значениях емкости вблизи

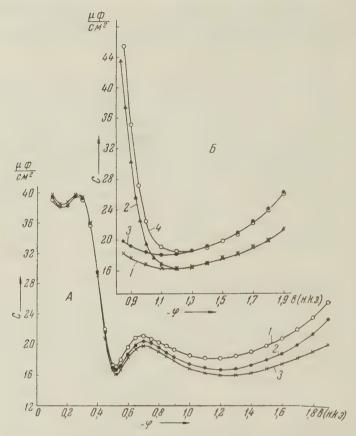


Рис. 1. Кривые дифференциальной емкости A — в 0,01 N растворах CsCl (1), KCl (2) и LiCl (3); частота 400 гц; 25°. \mathcal{B} — в 0,1 N растворах NaCl (1), NaJ (2), CsCl (3) и CsJ (4); частота 1000 гц; 25°

точки нулевого заряда составляет 1 рф/см². Различие в значениях емкости двойного электрического слоя в растворах хлоридов лития и цезия является дополнительным указанием на наличие специфической адсорбции катиона цезия. Однако, этот вывод нельзя считать однозначным, так как экспериментальные данные, полученные в растворах солей хлоридов щелочных металлов, осложнены адсорбцией Сl⁻. Мы предполагаем в ближайшее время провести измерения емкости в растворах солей фтористого натрия и цезия.

Наиболее убедительные данные, указывающие на наличие сверхэквивалентной адсорбции катионов можно получить, проводя измерения дифференциальной емкости на отрицательно заряженной поверхности электрода в присутствии такого аниона, например J^- , адсорбция которого в поверхностном слое заметно сказывается на величине дифференциальной

емкости.

Нами были проведены измерения дифференциальной емкости в 0,1 N фастворах NaCl, NaJ, CsCl и CsJ, а также в растворах 1,1 N KCl, N KCl, N KCl, N KCl, N KCl, N KCl, N Cl, N

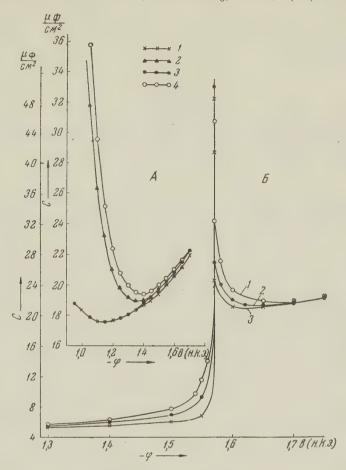


Рис. 2. Кривые дифференциальной емкости. A- в растворах 1,1 N KCl (1), 1 N KJ + 0,1 N KCl (2), 1 N KCl + 0,1 N LaCl $_3$ (3), 1 N KJ + 0,1 N LaCl $_3$ (4), частота 1000 гц; 25°; $\mathcal{B}-$ в растворах 10 $^{-3}$ N [N (C $_4$ H $_9$) $_4$] $_2$ SO $_4$ в присутствии 1 N KCl (1), 1 N KBr (2) и 1 N KJ (3); частота 1000 гц; 25°

ченные результаты приведены на рис. 1 B и 2 A. Как видно из приведенных данных, при достаточно отрицательных поляризациях анион йода перестает оказывать влияние, и значения дифференциальной емкости для соответствующих хлоридов и йодидов сходятся. При более отрицательных потенциалах величины емкости определяются только присутствующими в растворе катионами. Однако потенциалы, при которых исчезает различие между величинами емкости для соответствующих хлоридов и йодидов, неодинаковы и зависят от природы катиона. Так, действие йода в случае растворов NaCl и NaJ проявляется до потенциала $\varphi = -1,2$ в (против н. к. э.), а в случае растворов CsCl и CsJ до потенциала $\varphi = -1,3$ в (против н. к. э.), что указывает на некоторую сверхэквивалентную адсорбцию катиона Cs^+ , отсутствующую в случае катиона Cs^+ . Аналогичный эффект наблюдается также при добавлении к Cs^+ 0 которое в растворе Cs^+ 1 к Cs^+ 2 к Cs^+ 3 проявляется до потенциала cs^+ 4 к Cs^+ 4 к Cs^+ 5 в (против н. к. э.), в растворах Cs^+ 6 проявляется до потенциала cs^+ 6 против н. к. э.), в растворах Cs^+ 6 проявляется до потенциала cs^+ 6 против н. к. э.), в растворах Cs^+ 6 проявляется до потенциала cs^+ 6 против н. к. э.), в растворах Cs^+ 6 проявляется до потенциала cs^+ 6 против н. к. э.), в растворах Cs^+ 6 проявляется до потенциала cs^+ 6 против н. к. э.), в растворах Cs^+ 6 проявляется до потенциала cs^+ 7 проявляется до потенциала cs^+ 8 проявляется до потенциала cs^+ 8 проявляется до потенциала cs^+ 8 проявляется до потенциала cs^+ 9 проявляется до потенциальной до потенциальной до потенциальной до потенциальной до потен

 $+0.1\,N$ LaCl $_3$ сохраняется до потенциала $\phi=-1.65$ в (против н. к. э.), указывая на некоторую сверхэквивалентную адсорбцию катиона La $^{+++}$. Указанные явления можно также истолковать. предполагая наличие в двойном электрическом слое ионных пар, например в случае лантана LaJ $^{++}$ и LaCl $^{++}$, причем адсорбируемость этих комплексов в первом случае больше, чем во втором. Как видно из рис. 1E и 2A резкое возрастацие емкости, связанное с внедрением анионов в двойной электрический слой наблюдается в присутствии Cs $^+$ или La $^{+++}$ при более отрицательных нотенциалах по сравнению с растворами, содержащими Na $^+$ или K $^+$. Иначе говоря, и в этой области потенциалов адсорбция J^- облегчается присутствием в поверхностном слое ионов Cs $^+$ или La $^{+++}$, которые, вероятно, легче адсорбируются на поверхности ртути, перезаряженной ионами J^- , чем ионы Na $^+$ и K $^+$.

К выводу о втягивании в двойной слой анионов йода в присутствии катионов Al^{+++} пришел также Л. М. Штифман (2) по данным электрокапиллярных измерений. Аналогичные результаты получены нами при изучении пограничного натяжения Hg в растворах $1N \text{ KCl} + 0.1N \text{ LaCl}_3$ и $1N \text{ KJ} + 0.1N \text{ LaCl}_3$, однако эти данные требуют дополнительной проверки.

Тот факт, что сверхэквивалентная адсорбция катионов может приводить к вхождению анионов в поверхностный слой и при отрицательных потенциалах, особенно ярко выступает в случае адсорбции органических катионов. К этому выводу давно пришел один из нас (11) на основании данных электрокапиллярных измерений в растворах [$N(C_3H_7)_4$] СI, [$N(C_3H_7)_4$] Ј и NH_4 Ј. Это явление наблюдается и при измерении емкости ртутного электрода при одновременном присутствии в растворе поверхностно-активного органического катиона и неорганических анионов. При достаточно отрицательных потенциалах катион [$N(C_4H_9)_4$]⁺ десорбируется с поверхности ртути с образованием на кривой дифференциальной емкости

характерного пика десорбции (12). На рис. 2 приведены данные по зависимости дифференциальной емкости от потенциала в 1 Растворах КСl, КВг и КЈ в присутствии $^{10^{-3}}$ N [N (C_4 Н $_9$) $_4$] $_2$ SO $_4$. Как видно на рисунке, форма пика десорбции существенно меняется при переходе от Cl к C . Заметное заострение пика указывает на то, что вместо десорбции в узком интервале потенциалов наблюдается скачкообразное разрушение адсорбционного слоя при вполне определенном потенциале ($^{\varphi}$ = $^{-1}$,57 в против н. к. э.). Зависимость процесса десорбции от природы аниона однозначно указывает на втягивание анионов в поверхностный слой при отрицательных зарядах поверхности ртути. Подход аниона к отрицательно заряженной поверхности облегчается адсорбированными катионами, которые входят в состав обращенной к раствору обкладки двойного слоя.

Поступило 27 VII 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ D. Grahame, Chem. Rev., 41, 441 (1947). ² Л. М. Штифман, ДАН, 63, 709 (1948). ³ D. Grahame, J. Electrochem. Soc., 98, 343 (1951). ⁴ D. Grahame, C. R. 3 Réunion Congr. Intern. Thermodyn. Cinét. Electrochim., Milano, 1952, p. 336. ⁵ А. Н. Фрумкин, Н. В. Николаева-Федорович, Вестн. МГУ, 1957. ⁶ А. Н. Фрумкин, Усп. химин, 24, 933 (1955). ⁷ J. Zezula, Chem. Listy, 47, 492 (1953). ⁸ С. И. Жданов, В. И. Зыков, ЖФХ, 31 (1957). ⁹ D. Grahame, J. Ат. Chem. Soc., 68, 301 (1946). ¹⁰ В. И. Мелик-Гайказян, ЖФХ, 26, 560 (1952). ¹¹ А. Н. Фрумкин, Электрокапиллярные явления и электродные потенциалы, Одесса, 1919. ¹² Н. В. Николаева-Федорович, Б. Б. Дамаскин, Тр. совещ. по вопросам влияния поверхностно-активных веществ на электроосаждение металлов, Вильнюс, 1957, стр. 33.

ГЕОХИМИЯ

м. А. добржанская

СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КИСЛОРОДА В ЗОНЕ ФОТОСИНТЕЗА ЧЕРНОГО МОРЯ

(Представлено академиком А. П. Виноградовым 9 VII 1956)

Наблюдения по кислороду, при которых определения O_2 в слое наибольшего изменения температур велись через каждый метр, выявили некоторые специфические черты в вертикальном распределении его в зависимости этвремени года. Из рис. 1, A-B следует, что в теплое время года в удаленных от берегов районах моря в зоне фотосинтеза образуется слой некоторого максимума кислорода как по абсолютному содержанию, так и по проценту отфосительного насыщения. Небольшой максимум намечается уже весной. В конце апреля 1952 г. в центральной части западной половины моря отмечен небольшой максимум кислорода в слое между 10 и 15 м, где количество O_2 примерно на 0,3-0,5 мл/л выше, чем в остальной части вертикали. В этой толще также несколько повышен процент насыщения: 103-104%. В это время года в рассматриваемой зоне изменение кислорода по глубинам прочесходит плавно, без каких-либо резких скачков. Толщина такого обогаценного кислородом слоя невелика — всего 5-10 м.

В летнее время, в период наиболее четко выраженного температурного расслоения, в частности в августе, максимум кислорода достигает наибольшего развития как в абсолютных, так и в относительных величинах. В автусте 1951 г., в том же районе моря, что и в апреле, содержание кислорода в слое между 20—25 м составляло 8—9 мл/л, а в отдельных случаях и того выше; насыщение — от 120 до 140%, при значительно более низком содержании его в вышележащей толще (около 5,3 мл/л) и неполном насыщении (96—98%). При этом кривая вертикального распределения абсолютных и ютносительных величин О2 в августе имеет четко выраженную границу, где градиент увеличения кислорода достигает 2 мл/л на 1 м. Толщина слоя с содержанием кислорода, превышающим 100%, обычно немногим выходит за пределы 15—20 м. Глубина залегания верхней границы максимума величин О2 в августе, по сравнению с апрелем, располагается несколько

глубже, по преимуществу между 15 и 20 м.

В ноябре, т. е. к концу осени, слой с высоким содержанием кислорода продолжает сохраняться. Глубина залегания его еще более понижается, верхняя граница располагается главным образом между 25—30 м. В это время года величина максимума кислорода, по сравнению с августом, относительно понижена, однако еще намного превышает апрельскую. В ноябре 1954 г. количество О2 в этом слое колебалось главным образом в пределах от 7,5 до 8,0 мл/л О2, в соответствии с чем на пограничном горизонте градиент скачка в содержании О2 редко превышал 1 мл/л на 1 м. В то же время толщина верхнего с однородным содержанием кислорода слоя возросла до 20—25 м. Как правило, слой максимума О2 во все три сезона привязан к слою наибольшего изменения температур. При этом наибольшим градиентам температуры соответствуют наибольшие величины О2.

По мере размывания температурного расслоения, происходящего вследствие тех или иных причин, содержание О2 по вертикали выравнивается.

Соответственно зима характеризуется однородной величиной кислородал по всей вертикали; в халистатических областях до глубины 45—50 м.

Представленная схема вертикального распределения О₂ в своей основе очевидно справедлива для всех морей, характеризующихся четко выраженным температурным расслоением. Подтверждением этого является вертикальное распределение кислорода, представленное Д. Стилем (8) для Северного моря, характер которого весьма близок к полученному нами.

Из сопоставления содержания кислорода в различные сезоны следует

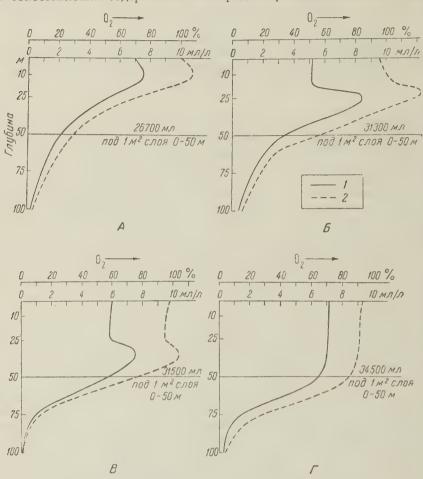


Рис. 1. Вертикальное распределение кислорода в центральной части Черного моря в зависимости от времени года: A — апрель 1952 г., станция 8, B — август 1951 г., станция 11, B—ноябрь 1954 г., станция 8, Γ — февраль 1956 г., станция 6; I — O_2 в м/л, I — O_2 в м/л, I — I

что количество его в слое максимума во всех случаях превышает зимние величины. Следовательно, максимум O_2 во всяком случае те его количества, которые являются избыточными по отношению к зимнему содержанию, образованы непосредственно в данной толще в процессе фотосинтеза. Косвенное подтверждение последнего находим в величине содержания кислорода в самой верхней толще. Так, в августе 1951 г. в верхних O-10, O-15 м в преобладающем большинстве случаев процент относительного насыщения кислорода составлял меньше 100% (96-98%), что указывает на относительно малую продукцию его на этих горизонтах. Потребление кислорода в этом слое на окислительные процессы в августе превышает его поступление, в то время как на глубинах 20-25 м имеет место обратное явление.

Для весны и лета вертикальное распределение величин О₂ хорошо соласуется с распределением фитопланктона (4), а также с суточной продукцией кислорода (1).

В этом отношении Черное море не составляет исключения; перемещение вертикали максимума фитопланктона и скопление его в слое температурного скачка отмечается рядом авторов ((5,6,8) и др.) и в других морях.

Вероятно, непосредственное влияние слоя скачка плотности как физитеского фактора на распределение фитопланктона усиливается создающимися вблизи него оптимальными, для ряда популяций условиями освещенности и температуры.

Глубина залегания оптимума освещенности для морей различных широт, го всей очевидностью, будет различна. При этом, что также хорошо известно, оптимальные условия освещенности в один и тот же отрезок времени для

различных форм фитопланктона могут несколько отличаться.

Таким образом, интенсивное образование кислорода не ограничивается чишь непосредственно слоем скачка температур. Фотосинтез в той или иной степени имеет место на большой части вертикали зоны фотосинтеза, и опимум его в точности (в пределах 1 м) не совпадает с границей расслоения, ю, по-видимому, колеблется вблизи ее, охватывая некоторую толщу, в том исле и горизонты, лежащие над границейслоя скачка. В данном случае везкое расслоение в содержании ${\sf O}_2$ по вертикали в значительной мере пределяется также вертикальным перемешиванием вод. Как известно, лаличие слоя резкого скачка плотности затрудняет вертикальный обмен од, в то время как верхняя толща воды, расположенная над слоем скачка, о́лее легко подвергается перемешиванию, в частности ветровому (3). Позышение же температуры уменьшает растворимость кислорода, поэтому в верхних, прогретых и легко перемешиваемых слоях весь образующийся избыток кислорода при перемешивании постоянно отдается в атмосферу; з слое, расположенном ниже скачка, отдача кислорода в атмосферу относительно замедляется.

Таким образом, количество O₂ и его распределение по вертикали зоны фотосинтеза в основном определяется тремя факторами: 1) интенсивностью фотосинтеза и положением глубины его оптимума, 2) величиной и характером вертикального распределения температуры, 3) глубиной интенсивного перемешивания (и отчасти горизонтальными перемещениями водных масс).

С этих позиций представляются понятными наблюдаемые характерные для различных времен года особенности в вертикальном распределении

кислорода.

Как известно, наиболее массового развития фитопланктон достигает в период весеннего цветения. Однако весеннему сезону соответствуют наименьшие величины максимума О₂. Несоответствие это отчасти обусловлено тем, что весной энергичное образование кислорода происходит в основном в самом верхнем, 10-метровом слое, т. е. в слое наиболее активном в динамическом отношении. Начавшееся же прогревание воды понижает растворимость кислорода. Отсутствие в это время года резко выраженного слоя скачка температуры не создает барьера, затрудняющего вертикальное перемешивание, ниже которого отдача кислорода в атмосферу относительно вамедлялась бы. Обстоятельство это в конечном итоге ведет к постоянной потере образующегося избытка О₂ в атмосферу.

Летом, в условиях наступившего резкого расслоения плотностей в прецелах слоя, который для некоторых видов фитопланктона по условиям освещенности, возможно, является оптимальным, наряду с энергичной отцачей в атмосферу образовавшегося избытка кислорода в слоях, располокенных над скачком, имеет место относительное накопление его в некоторой

олще под ним.

Аналогичное явление имеет место осенью. Различие лишь в том, что продукция кислорода непосредственно в слое максимума— на 30—35 м—, очевидно, менее интенсивна, чем летом, так как массовое развитие фито-

планктона осенью вновь сосредоточивается в более верхних горизонтах (4). Наблюдаемое в ноябре повышенное содержание кислорода в слое скачка в основном является остаточным количеством кислорода, образовавшегося в предыдущие месяцы как непосредственно на этих горизонтах, так и в расположенных несколько выше. В последнем случае передача О2 по вертикали происходит главным образом путем диффузии.

В прибрежных районах, где в силу тех или иных причин происходит более сильное перемешивание, на протяжении всего теплого периода года имеет место перманентное разрушение слоя скачка, что ведет к постоянной отдаче образующегося избытка О₂ в атмосферу и выравниванию его вели-

чин по вертикали.

Для суждения о динамике кислорода по сезонам представляет также интерес суммарное содержание его под 1 м² верхнего 50-метрового слоя (рис. 1). В частности, наблюдаемый от апреля к августу прирост кислорода (4600 мл под 1 м²) указывает на высокую продукцию его; в это время года поглощение кислорода из атмосферы занимает подчиненное положение.

Таким образом, с повышением температуры воды, сопровождаемым энергичным фотосинтезом, происходит постоянная отдача кислорода в атмосферу — для последней верхний слой моря в этот период служит мощным источником кислорода. С понижением температуры и ослаблением фотосинтеза начинает преобладать обратный процесс: зимой насыщение кислородом толщи

моря идет преимущественно за счет атмосферы.

Что касается абсолютной величины этого баланса и степени участия в нем кислорода (что представляет общий геохимический интерес), образованного в результате фотосинтезирующих процессов моря, то для достоверного определения их пока не накоплено еще достаточно данных. Нам в точности не известны ни количество О2, потребляемое на окислительные процессы в широком понимании их, ни величина его образования — в их динамике. Заключение же А. Редфилда (7) о том, что количества кислорода, покидающего поверхность моря в теплый период и поступающего из атмосферы в холодное время года, примерно равны и что принимающий участие в этом обмене кислород, образовавшийся в результате фотосинтезирующих процессов моря, составляет всего лишь $^{2}/_{5}$ от общей суммы его, несколько преуменьшает значимость биологической активности Мирового океана в обогащении кислородом атмосферы. В данном случае расчисления автором были произведены на основании изменений в содержании фосфатов от месяца к месяцу на протяжении года в слое 0-200 м. При таком способе вычисления приводимые данные являются лишь «остаточными» величинами за некоторый отрезок; времени и не отражают полностью повседневной динамики процессов, как например, суточной оборачиваемости органического вещества в период вегетации в пределах даже зоны фотосинтеза (2), вследствие которой значительно увеличится продукция кислорода, и т. д.; в действительности же следует ожидать, что количество кислорода, участвующего в этом обмене и образовавшегося в результате фотосинтезирующих процессов моря, значительно превышает приводимую А. Редфилдом величину и что количества кислорода, отдаваемые в атмосферу, в конечном итоге превышают поступление его из последней.

Севастопольская биологическая станция им. А. О. Ковалевского Академии наук СССР Поступило 6 VII 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. А. Добржанская, Тр. Севастоп. Биол. ст. АН СССР, 8, 303, 315 (1954). ² М. А. Добржанская, ДАН, 111, № 2, 462 (1956). ³ Н. Н. Зубов, Морские воды и льды, 1938. ⁴ Н. В. Морозова-Водяницкая, Тр. Севастоп. биол. ст. АН СССР, 6, 39 (1948). ⁵ Г. И. Семина, ДАН, 101, № 2, 363 (1955). ⁶ І. Қ геу, Killer Meersforsch., 10, № 1 (1955). ⁷ А. С. Redfield, J. Marine Res., 7, № 3 (1948). ⁸ J. H. Steele, J. Marine Biol. Ass., 35, № 1, 1 (1956).

БИОХИМИЯ

П. В. АФАНАСЬЕВ и А. И. ШУЛЬМИНА

О МЕХАНИЗМЕ ДЕЙСТВИЯ КАТАЛАЗЫ

(Представлено академиком А. И. Опариным 9 V 1957)

Каталазному процессу посвящено большое количество исследований. Однако рассмотрение соответствующих данных показывает неудовлетворительность общепринятых представлений о кинетике и механизме действия каталазы. Особенно странно то, что наиболее распространенные в энзимологии схемы механизма действия каталазы не соответствуют экспериментальным фактам и представлениям современной химической кинетики (1).

Фундаментальным в химической кинетике является вопрос о составе, строении и свойствах переходного активированного комплекса. В такой же мере, надо полагать, фундаментальным в энзимологии является вопрос о составе, строении и свойствах переходного комплекса фермента с субстратом. Не может быть сомнений в том, что механизм ферментативного каталазного процесса и механизм, например, термического, каталитического и фотохимического разложения перекиси водорода близки и включают существенно одинаковые звенья. Имея правильные представления о переходном комплексе, нетрудно вывести кинетические закономерности данного процесса.

Современные представления о механизме и кинетике химических процессов, развиваемые Н. Н. Семеновым (2), придают большое значение линейности строения переходного комплекса и участию свободных радикалов в качестве промежуточных продуктов реакции. В этом случае, при соответствующих механизмах, легко представить достаточно низкие активационные барьеры реакций. Свободные радикалы, подобно нейтронам при ядерных превращениях атомов, почти без энергии активации входят в интимное взаимодействие с молекулами и существенно повышают их реакционную способность.

Реакция разложения перекиси водорода по ряду признаков (большой квантовый выход, сильное действие следов ингибирующих веществ) может быть отнесена к классу цепных реакций. Предполагается следующая схема последовательных элементарных процессов с участием свободных радикалов ОН и НО₂ (3):

$$OH + H_2O_2 \rightarrow H_2O + HO_2,$$

 $HO_2 + H_2O_2 \rightarrow H_2O + O_2 + OH.$

Очевидно, что повышение скорости зарождения одного либо обоих свободных радикалов должно ускорять реакцию. Однако попытки простого перенесения данных и представлений химической кинетики в ферментативный катализ оказались неудачными (4). Мы считаем, что для понимания механизма ферментативного катализа необходимы дополнительные предположения.

Рассматривая вопрос о механизме каталазного процесса, мы остановились на следующей схеме последовательных элементарных процессов:

$$FOH + H_2O_2 \rightarrow FO_2H + H_2O,$$
 (1)

$$FOH + FO_2H \rightarrow FO_2F + H_2O, \qquad (2)$$

$$FO_2F \rightarrow 2FO$$
, (3)

$$FO + H_2O_2 \rightarrow FOH + HO_2,$$
 (4)

$$FO + HO_2 \rightarrow FOH + O_2$$

где FOH — фермент каталаза, а $s, x_1, ..., x_4$ — концентрации соответствую-

щих промежуточных соединений.

Первоначальные стадии (1) и (2) представляют взаимодействие одноосновной каталазы и двухосновной перекиси водорода. На стадии (3) происходит распад перекиси на свободные радикалы. Она соответствует актуроль каталазы состоит в существенном понижении энергии распада перекисной связи FO—OF. Это соответствует представлению, что каталитически активный комплекс состоит из двух молекул фермента и одной молекулы субстрата (5). В следующей стадии (4) происходит взаимодействие свободного радикала FO с перекисью водорода, приводящее к образованию свободного радикала HO2. Радикал HO2, как сравнительно мало активный при обычной температуре, может взаимодействовать с заметной скоростью с радикалом FO (5), но не с перекисью водорода, что приводит к вырождению цепного механизма в циклический. Производительность циклического механизма пропорциональна числу циклов, т. е. концентрации фермента. Закономерности цепных реакций в этом случае существенно вырождены и не проявляются.

При выводе кинетических уравнений мы полагали, что концентрации x_1 , x_2 и x_3 устанавливаются стационарными мгновенно, ввиду относительной ничтожности концентрации фермента и больших скоростей реакций. Кончентрация x_4 достигает стационарного значения через измеримое время.

Исходя из этих соображений, можно составить систему уравнений:

$$\frac{dx_1}{dt} = k_1 F s - k_2 F x_1 = 0, (a)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = k_2 F x_1 - [k_3 x_2 = 0, (6)$$

$$\frac{dx_3}{dt} = 2k_3x_2 - k_4sx_3 - k_5x_3x_4 = 0, (B)$$

$$\frac{dx_4}{dt} = k_4 s x_3 - k_5 x_3 x_4 \neq 0. \tag{r}$$

Здесь F — концентрация фермента каталазы, k_1 , k_2 , k_3 и k_4 — константы скоростей реакций, t — время. При решении этих уравнений, мы полагали в первом приближении, что уравнение (г) также равно нулю. В этом случае:

$$x_1 = \frac{k_1}{k_2} s$$
; $x_2 = \frac{k_1}{k_3} F s$, $x_3 \cong \frac{k_1}{k_4} F$.

Если же полагать, что уравнение (г) не равно нулю, а F и s постоянны, то

$$x_4 \cong \frac{k_4}{k_5} s \left(1 - e^{-\frac{k_1 k_6 F t}{k_4}}\right).$$

Так как концентрация субстрата падает со временем согласно уравнению $-\frac{ds}{dt}=k_1Fs+k_4sx_3=2k_1Fs$, то, следовательно, $s=s_0e^{-2k_1Ft}$, где s_0 — начальная концентрация субстрата.

Учитывая последнее, получим:

$$x_4 \simeq \frac{k_4}{k_5} - s_0 \left[e^{-2k_1Ft} - e^{-2 + \left(\frac{k_6}{k_4}\right)k_1Ft} \right].$$

Беря производную x_4 по t и приравнивая ее к нулю, получим условие оптимальности:

$$t_{\text{опт}} = \frac{k_4}{k_1 k_5 \, \text{F}} \ln \frac{2k_4 + k_5}{2k_4}$$
.

Таким образом, теория ожидает при каталазном процессе появления высцей перекиси водорода, впервые предположенной А. Н. Бахом, давшим некоторые экспериментальные доказательства ее существования (6). Эта зысшая перекись должна существовать по законам стационарности, т. е. эна должна возникать, накапливаться, а затем исчезать к концу процесса.

Известно, что в ходе цепных разветвленных реакций концентрации паименее активных промежуточных веществ могут достигать больших значений 7). В 1952 г. Эмануэль и Круглякова (8) выдвинули представление, что рекция разложения перекиси водорода должна быть отнесена к классу цепных разветвленных реакций. Они экспериментально показали образование значительной концентрации промежуточного продукта (10) реакции разложения перекиси водорода, способного длительно сохраняться в растворе в стабильной форме (в виде 12).

Указанные выше факты и теоретические представления заставили нас экспериментально исследовать каталазный процесс и особенно внимательно

превращения субстрата.

Образование высшей перекиси при каталазном процессе так же должно проявляться в виде недовыделения кислорода, как и в случае термического разложения перекиси водорода. Кислорода должно выделяться меньше, чем следует из количества разложившейся перекиси (по данным перманганатометрии или иодометрии). Неразложившаяся перекись должна содержать кислорода больше, чем необходимо для нормальной перекиси водорода.

Количественное определение высшей перекиси водорода в присутствии нормальной перекиси может быть произведено методом Баха — сопоставлением данных перманганатометрии с одновременной газометрией (9). Мы убедились, что этот метод не может дать достаточной точности в условиях количественного изучения кинетики процесса. Необходимо, однако, указать, что первоначально этим методом были получены данные, подтверждающие наши предположения.

В поисках удобного и надежного метода количественного изучения кинетики каталазного процесса мы остановились на комбинировании 1) перманиганатного титрования перекиси (которое не различает высшую перекись от нормальной) и 2) несколько видоизмененного метода Винклера (10)— определения кислорода, растворенного в воде, который количественно учитывает все окислительные эквиваленты всех перекисей. Разница между данными

этих двух методов дает количество высшей перекиси.

Опыты проводились следующим образом: 5 мл 0,2 N перекиси водорода, дважды перегнанной в вакууме, смешивали с 0,75 мл раствора кристаллической каталазы, полученной по методу Китагава и Ширакава (11). Указаные растворы готовились на фосфатном буфере 1/15 M, рН 6,8. Температура опытов $20\pm0,05^\circ$. Через определенное время реакция останавливалась прибавлением 2 мл 50% H_2SO_4 (в случае перманганатного титрования) или 0,5 мл концентрированной HCl (в случае определения методом Винклера). В последнем случае смесь охлаждалась льдом для предотвращения нагревания при нейтрализации сильно щелочного раствора крепкой кислотой. Применяемые соляная и сєрная кислоты очищались перегонкой.

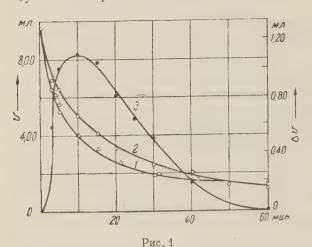
На рис. 1 приведены значения во времени данных по обоим методам о составе перекисей реагирующей смеси (кривые типа 1 и 2), кривая типа 3 дает разницу, 2-1, т. е. содержание высшей перекиси. Можно видеть, что кривая представляет характерную зависимость концентрации промежуточного продукта от времени (живущего по закону стационарности).

На рис. 2 представлена зависимость времени достижения оптимальной концентрации высшей перекиси от концентрации фермента. Видна удовле-

творительная обратная зависимость времени оптимума от концентрации каталазы.

Таким образом, полученные экспериментальные данные хорошо согла-

суются с теоретическими ожиданиями.



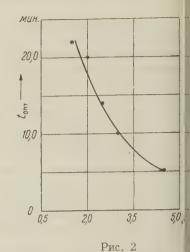


Рис. 1. Кинетика киталазного процесса (2,98 γ каталазы): 1 — титрование 0,1 N KMnO $_{\rm c}$ 7 γ сопределение методом Винклера (титрование 0,1 γ Na $_{\rm c}$ 82 γ 0, 3 — разница между 2 и Рис. 2. Зависимость времени достижения оптимальной концентрации высшей перек киси водорода от количества каталазы

Проведенные исследования указывают на близость каталазного процессти процессам термического и фотохимического распада перекиси водорода. Включая принципиально одинаковые звенья, каталазный процесс в то ж время имеет свои особенности: проходя с участием свободных радикалов он обладает не всеми характерными свойствами цепных процессов.

Институт биохимии им. А. Н. Баха Академии наук СССР

Поступило 6 V 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Д. М. Михлин, Биологическое окисление, М., 1956. ² Н. Н. Семеної О некоторых проблемах химическої кинетики и реакционной способности, М., 1954; Устхим., 26, 273 (1957). ³ Н. Н. Семенов, Цепные реакции, М., 1934. ⁴ Г. Навей R. Willstätter, Ber., 64, 2844 (1931). ⁵ П. В. Афанасьев, ДАН, 63, 61 (1948) Биохимия, 14, 259 (1949); Изв. АН СССР, сер. биол., № 3, 253 (1949). ⁶ А. Н. Бах ЖРФХО, 29, 373 (1897); Собр. тр. по химии и биохимии, Изд. АН СССР, 1950, стр. 250 ⁷ Н. Н. Семенов, ЖФХ, 17, 187 (1943). ⁸ Н. М. Эмануэль, К. Е. Кругля кова, ДАН, 83, № 4, 593 (1952); Природа, № 6, 103, 1952. ⁹ А. Н. Бах, Вег., 33 Б 1506 (1900). ¹⁰ L. W. Winkler, Ber., 21 2843 (1888). ¹¹ М. Кітадаwa W. Shirakawa, J. Agr. Chem. Soc., Japan, 17, 794 (1941) (цит. по Г. Кіегтеіе, W. Köberlein, Biochem. Zs., 326, 484 (1955)).

Доклады Академии наук СССР 1957. Том 115, № 4

БИОХИМИЯ

И. И. ИВАНОВ и Г. П. ПИНАЕВ

О МЕХАНИЗМЕ СОКРАЩЕНИЯ И САМОПРОИЗВОЛЬНОГО РАССЛАБЛЕНИЯ ГЛИЦЕРИНОВЫХ МОДЕЛЕЙ МЫШЕЧНЫХ ВОЛОКОН

(Представлено академиком В. А. Энгельгардтом 9 V 1957)

Работая с вымоченными в водноглицериновых средах мышечными волоками, приготовленными по способу Бендал (1), мы столкнулись со следующим нтересным феноменом: оказалось, что в некоторых случаях волокна, не олностью экстрагированные 50% глицерином, при определенной нагрузке определенной толщине пучка обнаруживают способность при добавлении ТФ после наступившего сокращения самопроизвольно расслабляться м. табл. 1).

Иногда после расслабления можно наблюдать и повторное сокращение последующим расслаблением волокна. Однако для этого обычно требуется меньшение нагрузки. Последнее, вероятно, объясняется тем, что воднолицериновые модели мышечных волокон в процессе растяжения несколько

овреждаются и при поторных растягиваниях утачивают часть своей соратительной способности

, 3).

О возможности возниковения описанного выше вления упоминает в одной з своих работ и Бендал (¹), также несколько позднее анни (⁴). По-видимому, ечто подобное наблюдали вкже Лорэнд и Мус (⁵), писавшие возникновение осцилляций» глицериноых мышечных моделей, наодящихся под нагрузкой, Таблица 1

Сокращение и расслабление глицериновых моделей мышечных волокон (изменение длины нити, находящейся в растворе $160\,$ ммол. KCl и $4\,$ ммол. $MgCl_2$, после добавления $6\,$ ммол. $AT\Phi$; нагрузка $250\,$ мг)

Исх. дли- на нити, мм	Длина сокращ.	Длина нити после добавл. АТФ, ммол.				
	нити, мм	через 5 мин.	через 10 мин.	через 20 мин.		
20 21 18 20	15 18 12 17	20	20 23 — 20			

ри внесении в раствор фосфопировиноградной кислоты.

Однако никто из названных авторов не дал сколько-нибудь ясного объясения наблюдаемым явлениям. Нам кажется, что установленный факт самороизвольного расслабления глицериновых моделей мышечных волокон, аходящихся под нагрузкой, в растворе 160 ммол. КСІ, 4 ммол. MgCl₂ и ммол. АТФ имеет нечто общее по своему механизму с мерцательным движением сократительных органелл глицериновых клеточных моделей, пристовленных по Гофман-Берлинг (6). Этот автор, насколько известно, также е объяснил механизма осуществления полного рабочего цикла органелл вижения глицериновых клеточных моделей в присутствии АТФ.

Мы считаем, что самопроизвольное расслабление в растворе АТФ глиериновых моделей мышечных волокон, находящихся под нагрузкой, после аступившего вначале сокращения, так же как и распрямление сократившейся органеллы движения подвижной клетки, происходящее под влияние сил деформации скелетной фибриллы, играющей роль антагонистичест действующего упругого разгибателя, может быть объяснено лишь следунщим путем: очевидно АТФ-азная активность мышечного волокна или оргинеллы движения (хвост сперматозоида, ундулирующая мембрана трипанзомы (6), респички мерцательного эпителня (7)) падает при сокращении и вограстает при расслаблении. Это и создает возможность периодического с кращения и расслабления контрактильного белка в одной и той же сред содержащей АТФ, при наличии силы, вызывающей растяжение волокна ил соответственно, распрямление органеллы движения (груз — в первом случа наличие разгибателя — во втором).

Ленинградский педиатрический медицинский институт

Поступило 3 V 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ J. R. Bendall, J. Physiol., **121**, 232 (1953). ² И. И. Иванов, В. И. АгодАН, 66, № 6, 4137 (1949). ³ И. И. Иванов, Українськ. біохім. жур **22**, № 4, 393 (1950). ⁴ R. E. Ranney, Am. J. Physiol., **179**, № 1, (1954). ⁵ L. Lorand, C. Moos, Nature, **177**, 1239 (1956). ⁶ Н. Ноffman Berling, Biochem. et Biophys. Acta, **16**, 146 (1955). ⁷ В. Я. Александроб Н. И. Арронет, ДАН, **110**, № 3, 457 (1956).

БИОХИМИЯ

Л. С. КУЦЕВА и В. Н. БУКИН

МОРСКИЕ ВОДОРОСЛИ И САПРОПЕЛИ КАК ИСТОЧНИКИ ВИТАМИНА \mathbf{B}_{12}

(Представлено академиком А. И.: Опариным 13 V 1957)

Ранее было сообщено о ряде полученных нами данных по содержанию питамина B_{12} в различных природных источниках, в том числе в продуктах верментации актиномицетов и некоторых бактерий (1). Учитывая ряд повившихся работ по изучению содержания витамина B_{12} в морских воорослях, особенно интенсивно проводимых в последние годы японскими сследователями (2,3), нами были предприняты испытания некоторых воорослей Баренцева и Черного морей. Навески свежесобранных водорослей, свобожденных от поверхностной влаги обтиранием фильтровальной бучагой, фиксировались двойным объемом 96% этилового спирта. Перед анамизом навески растирались, разбавлялись в 5 раз водой и, после добавления КСN из расчета 20 мг% на исходный вес водорослей, автоклавировались 0 мин. при 0,5 атм. Испытание проводилось микробиологическим методом Еscherichia coli, как было описано ранее (4). Полученные результаты представлены в табл. 1.

. Таблица 1 Содержание витамина B_{12} в водорослях в μ г на 1 кг

Водоросли Черного моря	Витамин В ₁₂	Водоросли Баренцева моря	Витамин В ₁₂
Iva lactuca nteromorpha intestinalis ystosira barbata elidium corneum allithamnion corymbosum	76 130 20 86 311	Laminaria saccharina Fucus inflacus Fucus serratus Rodymenia palmata Monostroma fuscum Porphyra umbilicalis	4 следы » 9 26 10

Из таблицы видно, что водоросли Черного моря значительно богаче витамином B_{12} , чем водоросли Баренцева моря. Имеют ли здесь значение лишь различия в видовом составе или накладываются также и условия обитания, из приведенных данных заключить трудно. В связи с тем, что в настоящее время отрицается способность водорослей к самостоятельному синтезу витамина B_{12} , а его накопление объясняется результатом деятельности бактерий-эпифитов (5), представляет интерес наиболее высокое содержание витамина как раз в водорослях, обитающих в более загрязненных местах — Callithamnion и Enteromorpha, имеющих к тому же нежный таллом с большой поверхностью.

Так как первоисточником витамина B_{12} в природе являются микроорганизмы, и он найден в следовых количествах в почве, в иле стоячих водоемов (6), а также в довольно заметных количествах в морских грязевых отложениях и взвешенных частичках (детрит и планктон) (7), мы предпри

няли испытание сапропелей, т. е. органических отложений илового порядка зарастающих озер. Первые образцы сапропелей были любезно представлень нам Н. В. Кордэ из собранной ею коллекции с различных глубин озераз Пиявочное Калининской обл. Несмотря на длительное хранение (10—12 лет). образцы содержали значительные количества витамина В12, определяемого

Содержание витамина B_{12} в образцах сапропелей из Литовской ССР в μ г на 1 кг, определяемое с помощью Escherichia coli

Характеристика образцов	На сырое вещество	На сухое всщество	Характеристика образцов	На сырое вещество	На сухое вещество
Озеро Жувинтас (площадь 1027 га) Проба № 1, расстояние от берега 800 м, глубина 1,2 м Проба № 2, расстояние от берега 1000 м, глубина 1 м Проба № 3, расстояние от берега 1300 м, глубина 0,9 м	43 58 42	760 930 820	Озеро Дисна (площадь 2600 га) Проба № 1, глубина 1,8 м Проба № 2, глубина 3,8 м Проба № 11, глубина 3,4 м Проба № 13, глубина 1,8 м Проба "К", глубина 4,6 м Озеро Будрю Проба № 1	89 124 73,6 56 130	1600 1900 1600 940 2060

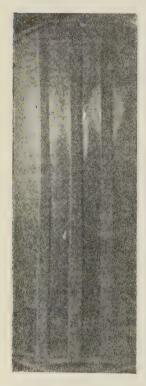


Рис. 1. Фото биоавтограммы образца сапропеля. Справа и слева пятна от чистого витамина В₁₂, посредине — пятно от витамина сапропеля

с помощью E. coli (до 500 рг на 1 кг сухого вещества). Это побудило нас испытать свежесобранные образцы сапропелей и определить содержание в них подлинного витамина (цианкобаламина). Образцы сапропелей были любезно предоставлены нам из Института биологии Литовской академии наук А. А. Гедиминас с дистрофного оз. Жувинтас и озер Дисна и Будрю. Пробы отбирались с поверхностных слоев отложений и содержали, по определению на E. coli, следующие количества витамина В₁₂.

Из таблицы видно весьма высокое содержание витамина В₁₂, уровень которого значительно превосходит величины, указанные для иловых отложений в литературе. Так как E. coli отвечает не только на подлинный витамин В12, но и на псевдовитамины, не являющиеся ценными для животного организма, был проведен хроматографический анализ на бумаге присутствующих в сапропелях кобаламинов примерно по той методике, которая описана Верховцевой и Суриковой (8). На бумагу наносилось по 0,005 мл стущенных водных экстрактов из сапропелей и такие же количества раствора чистого цианкобаламина с концентрацией 0,4 иг/мл. В качестве растворителя пользовались смесью: нормальный или вторичный бутанол, вода, насыщенный раствор аммиака и 0,5% раствор КСМ в соотношении 100: 40: 0,8: 0,5. Проявление хроматограмм проводилось на пластинках агара, засеянных E. coli (метод биоавтографии). Пример типичной биоавтограммы приведен на рис. 1.

В результате хроматографического анализа присутствие псевдовитаминов обнаружить не удалось.

Еще более убедительное подтверждение этих данных было получено путем испытания сапропелей с помощью специфичного микроорганизма Ochro-766

honas malhamensis по методике, описанной Фордом (9). Полученные ре-

ультаты приведены в табл. 3.

Указанный микроорганизм отвечает только на подлинный витамин В₁₂ не отвечает на псевдовитамины. Как видно из табл. 3, определения с этим рганизмом показали практически полное совпадение с теми величинами, которые приведены в табл. 2.

Таблица 3

Содержание витамина B_{12} в образцах сапропелей из Литовской ССР в μr на 1 кг сухого вещества, определяемое с помощью Ochromonas malhamensis

Образец	Содєржа- ние вита- мина В ₁₂	Образец	Содержа- ние вита- мина В ₁₂
Озеро Жувинтас, проба № 1		Озеро Дисна, проба №3	2300
проба № 2		проба № 11	1585
проба № 3		проба № 13	940
Озеро Дисна, проба № 1		проба № "К"	2110

Таким образом мы можем рассматривать сапропели в качестве весьма богатого нового источника подлипного витамина B_{12} , что представляет большой научный и практический интерес и побуждает к дальнейшим более углубленным исследованиям.

Институт биохимии им. А. Н. Баха Академии наук СССР Поступило 9 V 1957

[ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. Н. Букин, Л. Я. Арешкина, Л. С. Куцева, Усп. совр. биол., 11, в. 3 (6) (1955). ² І. Наshіmoto, І. Маеdа, Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 19, 141 (1953). ⁸ Ј. Наshіmoto, Т. Sato, Bull. Japan. Soc. Sci. Fish., 19, 45 (1953). ⁴ Л. С. Куцева, Сборн. Методы определения витаминов, Изд. АН СССР, 1955. ⁵ L. Е. Егісsоп, L. Lewis, Ark. kemi, 6, 427 (1954). ⁶ Е. Lester Smith, Nutr. Abstr. and Rev., 20, 796 (1951). ⁷ Р. R. Вигкholder, L. М. Вигкholder, Science, 123, 1071 (1956). ⁸ Т. П. Верховцева, Е. И. Сурикова, Вопр. мед. хим., 2, в. 6, 438 (1956). ⁹ Ј. Е. Ford, Brit. J. Nutr., 7, 299 (1953).

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

А. К. БОНДАРЕВА

измерение теплопроводности взвешенного слоя

(Представлено академиком С. И. Вольфковичем 29 IV 1957)

Суммарный коэффициент теплопередачи зернистого материала толщиной доводуваемого потоком воздуха, может быть подсчитан по формуле:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{\lambda}{\alpha_2}},\tag{1}$$

где α_1 и α_2 — соответственно, коэффициенты теплоотдачи нагретой степки к слою и слоя к холодной стенке, λ — коэффициент теплопроводности слоя.

Для неподвижного слоя при значениях α_1 и α_2 порядка 20-100 ккал/м² час град. и $\lambda=0,3-0,4$ ккал/м час град. суммарный коэффициент K имеет значение порядка 1-2 ккал/м² час град. (¹). Для взвешенного же слоя измерялся суммарный коэффициент теплопередачи K, который во много раз больше, чем у неподвижного слоя, и имеет значение порядка сотен.

Величина λ никем непосредственно не измерялась. Некоторые авторы (2) утверждают, что коэффициент теплопроводности λ взвешенного слоя должен быть больше, чем соответствующий коэффициент для металлов. Этим, по их представлению, и можно объяснить резкое возрастание K во взвешенном слое.

Однако даже при высоких значениях λ отношением δ/λ в уравнении (1) можно пренебречь только пока толщина слоя δ мала (в экспериментальных установках). В больших же промышленных установках отношение δ/λ может существенно влиять на значение суммарного коэффициента теплопередачи K. В связи с этим нами была сделана попытка измерить коэффициенты

теплопроводности х взвешенного слоя.

Экспериментальная установка (рис. 1) состояла из трубы с внутренним диаметром 82 мм и высотой 500 мм. В центр трубы помещался электрический нагреватель высотой 200 мм. Снаружи вся труба покрыта кожухом, по которому протекала охлаждающая вода. Внизу трубы вставлена сетка из плотной парусины, которая не давала высыпаться сыпучему материалу вниз и делала поток воздуха более равномерным. Электрический нагреватель был помещен в медный кожух диаметром 10 мм, для выравнивания температуры. Температура слоя измерялась вдоль радиуса на высоте 100 мм от сетки (середина нагревателя) шестью термопарами, помещенными на расстоянии 5, 9, 14, 24, 33 и 41 мм от центра, так, что первая термопара была у кожуха нагревателя, а 6-я у кожуха холодильника. Кроме того, две термопары определяли температуру воздушного потока на входе в трубу и на выходе из взвешенного слоя для учета тепла, внесенного и унесенного потоком воздуха. Количество тепла, отданного нагревателем взвешенному слою, определялось по мощности тока. Термопары были соединены через десятиконтактный переключатель с зеркальным гальванометром, показания которого заранее градуировались с помощью ртутного термометра с ценой деления в 0,1°. Воздух подавался от компрессора с производительностью в 30 м³/час. Часть воздуха 768

рбрасывалась через специальные краны. Расход воздуха измерялся диафрагмами. Разбухание слоя поддерживалось равным высоте нагревателя (200 мм).

Измерения показали, что по всему взвешенному слою температура вдоль глоя не остается постоянной, как указывали некоторые авторы (3), а меняется (рис. 2). Из этого вытекает, что коэффициент теплопроводности слоя не может быть бесконечно большой величиной.

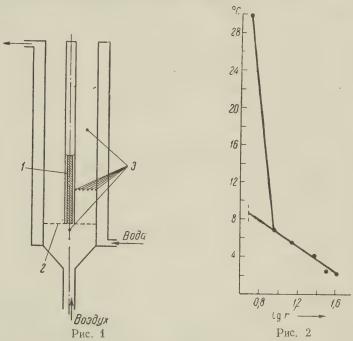


Рис. 1. Разрез прибора по определению коэффициента теплопроводности взвешенного слоя: 1 — нагреватель, 2 —сетка, 3 — термопары Рис. 2. Распределение температуры по радиусу во взвешенном слое: $d=233~\mu,~w=85\frac{{\rm cm}}{{\rm cek}}\frac{h}{h_0}=9,\!35$

$$d = 233 \,\mu, \, w = 85 \, \frac{\text{cM}}{\text{cek}} \, \frac{h}{h_0} = 9.35$$

Если количество тепла, отдаваемое нагревателем слою $Q=0.865\ I\cdot U$ ккал/час, и так как взвешенный слой в нашем случае находится между цвумя коаксиальными цилиндрами с радиусами r_1 (радиус стенки нагревателя) и r_2 (радиус стенки холодильника), то согласно закону Фурье колинество тепла, проходящее через слой высотой h в час, равно

$$Q = - \, \lambda F \, \frac{dt}{dr} = - \, \lambda 2\pi r h \, \frac{dt}{dr} \, = - \, 2\lambda\pi h \, \frac{dt}{d\ln r} \, \frac{\mathrm{kkaj}}{\mathrm{vac}} \, .$$

Так как количество тепла, отданное нагревателем, и количество, прошедшее через слой, равны, то

 $0.865 IU = -\lambda 2\pi h \frac{dt}{d\ln r},$ (2)

Все величины, входящие в равенство (2) могут быть измерены эксперименгально и следовательно может быть подсчитан эффективный коэффициент

геплопроводности взвешенного слоя λ.

Можно предположить, что коэффициент теплопроводности взвешенного лоя зависит от числа частиц в единице объема и от скорости их хаотического цвижения. Если сыпучее вещество полностью заполняет все пространство, астицы не движутся и коэффициент теплопроводности системы постоянен. По мере уменьшения числа частиц в единице объема (слой разбухает) часицы начинают сначала шевелиться, азатем двигаться все быстрее и быстрее. Вахватив какое-то количество тепла у горячей стенки, они переносят его

к холодной и по мере того как движение частиц становится все интенсивнее, количество тепла, перенесенное от одной стенки к другой за единицу времени, будет увеличиваться, т. е. будет увеличиваться и коэффициент теплопроводности. Однако при дальнейшем разбухании слоя число частиц в единице объема начинает уменьшаться. И хотя они движутся с большими скоростями, они переносят все меньше и меньше тепла. Следовательно, начиная с какой-то определенной скорости дутья, коэффициент теплопроводности должен начать уменьшаться. Это предположение было проверено нами

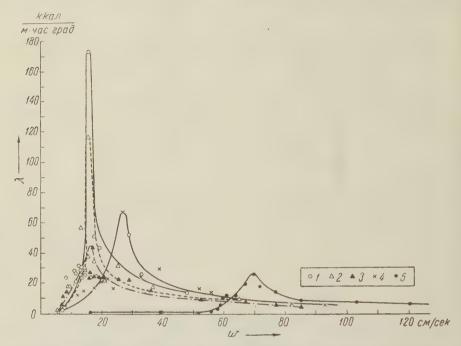


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплопроводности λ взвешенного слоя от скорости потока: 1-d=100 μ , 2-d=153 μ , 3-d=233 μ , 4-d=315 μ , 5-d=475 μ

экспериментально, в резулгате чего мы получили кривые зависимости коэф- фициента теплопроводности λ ккал/м·час·град. от скорости дутья w $\frac{c_{\rm M}}{c_{\rm EK}}$ для речного песка со средним диаметром частиц d=100; 152; 233; 315 и 475 μ (рис. 3). Температура нагревателя не превышала 100°. Максимум всех кривых соответствовал примерно одному и тому же значению, $\frac{h}{h_0}=1,5\div1,75$, где h_0 — высота неподвижного слоя, h— высота разбух-чиего слоя.

Одновременно нами были подсчитаны для этих песков коэффициенты теплоотдачи от нагретой стенки к взвешенному слою. Зависимость коэффициента теплоотдачи α ккал/м² час град. от скорости потока ω см/сек носит такой же характер, как и зависимость коэффициента λ . Измерялся также и коэффициент теплоотдачи от песка к холодной стенке, но ввиду малых перепадов температур точность измерения была невелика.

В заключение автор выражает благодарность проф. О. М. Тодесу за руководство.

Поступило 9 X I 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Б. Н. Ветров, О. М. Тодес, ЖТФ, **26**, № 4, 800 (1956). ² W. Brötz, Chem.-Ing. Techn., **24**, № 2, 60 (1952). ³ E. Wicke, F. Fetting, Chem.-Ing. Techn., **26**, № 6, 301 (1954).

ГЕОЛОГИЯ

И. В. КИРИЛЛОВА

О ПЕРИОДИЧНОСТИ РАЗРУШИТЕЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ « КАВКАЗА И ТУРЦИИ

(Представлено академиком Н. М. Страховым 11 III 1957)

Периодичность землетрясений представляет весьма большой интерес, как в связи с проблемой прогноза землетрясений, так и для решения вопроса о причинах землетрясений и о характере тектонических процессов, с которыми они связаны. Чтобы получить правильное представление о периодичности землетрясений, необходимы сейсмостатистические данные за возможно больший отрезок времени.

Хронология кавказских землетрясений (¹) ведется со 139 г. Смежная с Кавказом Малая Азия также дает богатый материал для анализа. Сведе-

ния о разрушительных землетрясениях восходят здесь к третьему веку до нашей эры (7 11 13)

(', 11, 10).

Для выявления периодичности в проявлениях сейсмической активности Турции и Кавказа мы по литературным материалам (1,7,8,11-14) составили графики распределения разрушительных землетрясений Турции и Кавказа во времения (1)

мени (рис. 1).

На графиках по оси абсцисс откладывается время, а по оси ординат - количество Осреднение землетрясений. данных производится путем подсчета числа землетрясений за каждые пятьдесят лет и затем — перекрестного пересчета по столетиям. Полученные таким образом кривые (а и б) показывают, что в сейсмической активности интересующей нас территории имеется своеобразная ритмичность, которая проявляется в том, что число разрушитель-

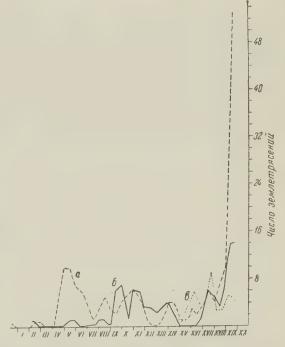


Рис. 1. Графики периодичности разрушительных землетрясений: *а*—Турция, *б* — Кавказ, *в* — Китай (по Миябе)

ных землетрясений периодически то нарастает, то уменьшается.

В числовом выражении максимумы и минимумы не постоянны. Особенно большой максимум характеризует последнее столетие, что частично может быть отнесено за счет увеличения количества материалов. Но если отвлечься от числовых значений минимумов и максимумов и воспринимать их качест-

венно, можно видеть, что максимумы и минимумы разделяются периодами около 2,5—3 столетий, более или менее правильно сменяя друг друга. Кривые кавказских и турецких землетрясений довольно хорошо коррелируются

между собой.

Имеющиеся материалы не дают возможности с большой точностью определять период повторения землетрясений в том или ином месте. Тем не менее, они позволяют уверенно говорить об определенной ритмичности проявлений сейсмической активности во времени.

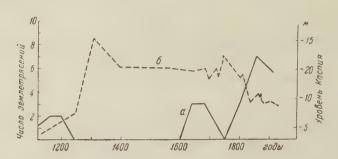


Рис. 2. Сопоставление периодичности разрушительных землетрясений Восточного Кавказа с колебаниями уровня Каспийского моря: *а* — среднее число землетрясений за 100 лет, *б* — колебания уровня Каспийского моря (по А. В. Вознесенскому)

Приуроченность землетрясений к областям интенсивных вертикальных движений земной коры в совокупности с их своеобразной цикличностью заставляет искать связи между сейсмической активностью территории и колебательными движениями земной коры.

А. В. Вознесенский (3) отмечал, что колебательные движения земной коры в прилегающей к Каспийскому морю области отражаются на уровне Каспийского моря, для которого в последние 800 лет констатированы очень

резкие перемещения с вертикальной амплитудой порядка 16 м.

Амплитуда вертикальных движений фиксируется различным положением выстроенного в Бакинской бухте 800 лет назад караван-сарая, который впоследствии был глубоко погружен под уровень Каспийского моря, затем постепенно поднимался и в настоящее время почти вышел на

поверхность.

 $\vec{\mathcal{A}}$ анные об изменении уровня Каспийского моря А. В. Вознесенский суммирует в виде графика (рис. 2,a). Если сравнивать кривую колебания уровня Каспия с кривой среднего векового количества разрушительных землетрясений Восточного Кавказа (рис. $2,\delta$), то мы не увидим такой корреляции, какая наблюдалась при сопоставлении графиков распределения во времени турецких и кавказских землетрясений, но некоторая взаимосвязанность явлений как будто обнаруживается.

Можно считать, по-видимому, что максимумы сейсмической активности соответствуют периодам минимумов уровня Каспия или, что почти то же самое, что они предшествуют (с точностью до века) периодам его поднятия.

Геологической причиной, вызывающей понижение уровня Каспийского моря в районе Баку, может быть поднятие прилегающего к нему мегантиклинария Большого Кавказа или же прогибание Каспийской депрессии. Какой из этих двух процессов имеет место, решить трудно. Во всяком случае любой из них свидетельствует о продолжающейся тектонической жизни этой зоны и интенсивных циклично развивающихся новейших колебательных движениях, с которыми связывается также и периодическое оживление сейсмической активности восточного Кавказа. Следует заметить, что периодические изменения уровня Каспийского моря в последнее время получают не-

сколько иное толкование. Л. С. Берг (²), Б. Д. Зайков (4), А. В. Шиитников (6) и др. связывают их с периодическими изменениями солнечной активности.

Новый вариант трактовки колебаний уровня Каспийского моря, как нам кажется, не исключает возможности существования намеченных выше связей, так как геофизическое значение солнечной деятельности, а именно ее влияния на происходящие внутри Земли процессы, далеко еще не изучено.

Весьма интересно, что примерно соответствующая периодичность выведена Тарнером (15) для китайских землетрясений. Группируя различным образом землетрясения, Тарнер получал периоды 240, 260 и 284 года. Эти периоды сравнивались с максимумами и минимумами стояния Нила, интенсивностью роста калифорнийской секвойи и увязывались, путем пересчетов,

с движением полюсов.

Графики изменения числа разрушительных землетрясений для Китая и Японии строил Миябе (10) (см. рис. 1,8). Весьма существенным указанием на то, что сейсмическая активность связана именно с колебательными тектоническими движениями, служит то, что при одинаковой периодичности максимумы сейсмической активности Северного Китая соответствуют минимумам Южного Китая, отличающегося иными тектоническими условиями.

Институт физики Земли Академии наук СССР Поступило 4 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Е. И. Бюс, Сейсмические условия Закавказья. Тбилиси, ч. 1, 1948; ч. 2, 1952.

² Л. С. Берг, Климат и жизнь, 1947. ³ А. В. Вознесенский, Изв. Центр. Гидрометеор. бюро, в. 6 (1926). ⁴ Б. Д. Зайков, Водный баланс Каспийского моря в связи с причинами понижения его уровня, Л., 1946. ⁵ В. Степаня, Краткая хронология наиболее значительных землетрясений в исторической Армении и прилегающих районах, Ереван, 1942. ⁶ А. В. Шнитников, Бюлл. Комисс. по иссл. солнца, № 3—4 (17—18) (1949). ⁷ Е. Lahn, Bull. Seism. Soc. Am., 42, № 2 (1952). ⁸ Е. Lahn, Bull. du Bur. Centr. Seism. Intern., ser. A, fasc. 18 (1952). ⁹ R. De Lury, Am. Astron. Soc. Publ., 4, 23. Meet. Ann. Arbor., 1919. ¹⁰ N. Miyabe, Proc. Imp. Acad. Tokyo, 8, № 6 (1927). ¹¹ I. Mihailovic, Ass. Intern. de Seismol., Ser. B., Monogr. et trav. sci., fasc. № 2 (1933). ¹² N. Pinar, Publ. du Bur. Centr. Seismol. Intern. ser. A, Tray, sci., Fasc. 18 (1952). ¹³ Е. Tillotson, Nature, 171, № 4352 (1953). ¹⁴ S. W. Tromp, J. Geol., № 4 (1947). ¹⁵ H. H. Turner, Monthly Not. R. Astron. Soc. Geophys., Suppl., 1, № 6 (1925).

ГЕОЛОГИЯ

Е. А. РЕЙТЛИНГЕР

СФЕРЫ ДЕВОНСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ

(Представлено академиком Н. В. Шатским 27 II 1957)

В 1880 г. Уильямсон (⁶) описал из угленосных отложений Англии своеобразные микроскопические сферические образования — Calcisphaera, представляющие собой полые сферы, нередко снабженные периферическими придатками различной формы. Эти кальцисферы имели известковую стенку — однослойную или многослойную с зернистой или радиально-волокнистой структурой. Систематическое положение кальцисфер Уильямсон установить не мог, но отметил, что структура их стенки сходна с таковой фораминифер, а по внешнему строению они напоминают радиолярий.

Позднее кальцисферы указывались различными исследователями из отложений девона и карбона Англии, Франции и других стран. Краткий обзор работ по кальцисферам до 1935 г. приводится в работе Пиа (5). В последние годы Дервилль (4) описал из каменноугольных отложений Франции ряд новых родов и видов кальцисфер, отличающихся друг от друга структурой и толщиной стенки (Granulosphaera, Lepyrosphaera, Polyderma и др.). Дервилль предполагал, что образования типа Calcisphaera, скорее всего,

являются растительными остатками типа спор и спорангиев.

В Советском Союзе первые находки сфер отмечались М. С. Швецовым в 1940 г. в хованской толще (этрен) Подмосковного бассейна. Позднее несколько видов сфер с гладкой поверхностью и зернистой стенкой были описаны И. С. Сулеймановым (³) из турнейских отложений Ишимбаевского Приуралья. Последний рассматривал их как раковинки фораминифер нового рода Archaesphaera. В 1955 г. Е. В. Быкова (¹) под общим названием Archaesphaera minima Suleimanov объединила ряд весьма разнообразных сфер, значительно отличающийся как друг от друга, так и от генотипа, установленного Сулеймановым. Стратиграфическая значимость сфер впервые подчеркивается С. Г. Рахмановой (²).

Изучая микроскопические органические остатки девонских отложений, мы обратили внимание на большое количество разнообразных сферических образований, встречающихся в этих отложениях. Как показало дальнейшее изучение, многие из них имели определенное стратиграфическое распространение. Особенно богаты сферами оказались отложения фаменского яруса.

Под сферами мы понимаем микроскопические сферические образования неясного систематического положения со следующими признаками: 1) шарообразной формы, полые впутри, с четким внутренним контуром; 2) с гладкой или скульптурированной поверхностью, снабженной лучевидными выростами или шипами; 3) без определенного отверстия, связывающего внутреннюю полость с внешней средой, и 4) с известковыми стенками различной текстуры.

У сфер, несущих лучевидные выросты или шипы, обычно в последних наблюдаются осевые «каналы», в шлифах выраженные тонкой темной полоской. Иногда в шлифах хорошо прослеживается слепое окончание темных «каналов»; возможно, это были не каналы, а осевые стержни. В редких случаях (у р. Sphaerella) в шипах видны ясные, светлые в шлифах каналы.

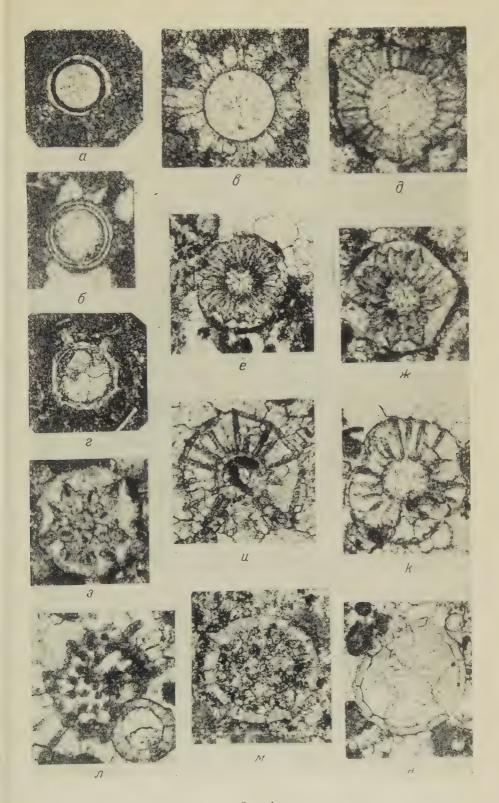
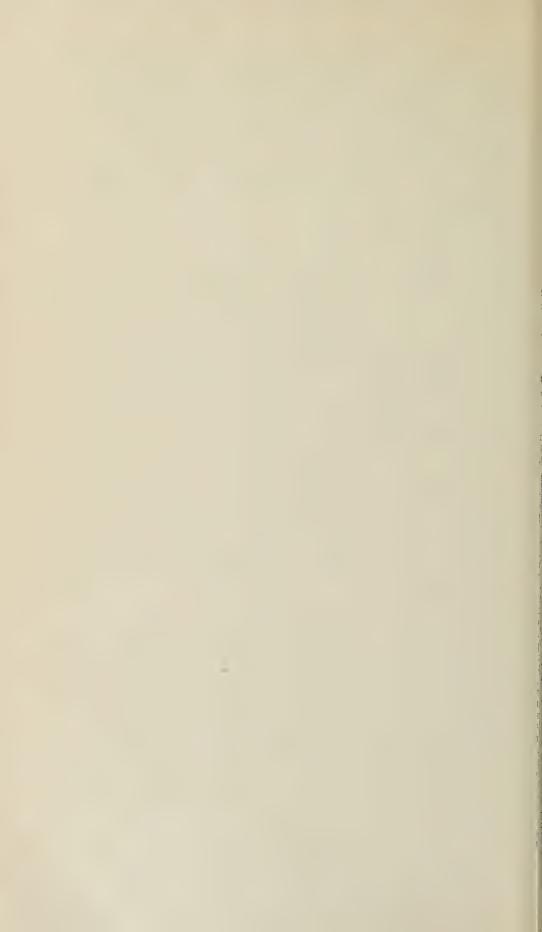


Рис. 1



В изученном материале, охватывающем девонские отложения Централью ого Девонского поля и Заволжья, среди сфер выделяются следующие типы:

1. Сферы гладкие с однослойной стенкой, обычно тонкозернистой, реже боее грубозернистой, в шлифах темной Archaesphaera Suleimanov 2. Сферы глалкие с однослойной стенкой, прозрачной в шлифах

4. Сферы многослойные, с меняющимся расположением слоев различной екстуры — зернистой или радиально-лучистой . . Polyderma Derville 5. Сферы с лучами или шипами со стенкой двуслойной или многослойной

острены, и промежутки между ними заполнены внешним стекловатым слоем, делающим поверхность сферы гладкой. . . . Asterosphaera gen. nov. 8. Сферические образования, состоящие из двух сфер, радиально-лу-

природа сфер остается неясной и в настоящее время. Мелкие сферы типа Calcisphaera, Radiosphaera и Polyderma широко распространены в мелководных, лагунного типа фациях Центрального Девонского поля, где они особенно обильны в слоях со следами корневой системы. В этих отложениях

Рис. 1. *a* — Calcisphaera plavskensis sp. nov.Стенка двуслойная; внутренний слой микрозернистый, наружный — радиально-лучистый. Диаметр сфер от 0,074 до 0,13 мм. Толщина отдельных слоев стенки примерно одинаковая, общая толщина стенки 12—18 μ. Хованские слои, г. Плавск. Тульская обл. 150×. Экз. № 3446/1. *б* — Polyderma chovanensis sp. nov. Стенка трехслойная, чередование слоев микрозернистой и радиально-лучистой текстуры. Диаметр сфер 0,11—0,16 мм. Толщина стенки около 12 г. Слои примерно равной толщины. Хованские слои, г. Плавск, Тульской обл. 150 ×. Экз. № 3446/2. в — Radiosphaera basilica sp. nov. Сфера с многочисленными массивными лучами, соприкасающимися своими основаниями. Внутренний слой тонкий, микрозернистый, тесно сближенные лучи образуют внешний слой радиально-лучистой текстуры. Диаметр внутренней полости сферы равен 0,14—0,17 мм. Длина лучей доходит до 93 μ. Слои со «сферовыми водорослями», данково-лебедянская толща. Скважина Байтуган, глубина 1414—1419 м, 100 × . Экз. № 3446/3. г — Radiosphaera spinos. sp. nov. Стенка трехслойная, состоящая из тонких слоев: внутреннего и внешнего — радиально-лучистых и среднего — микрозернистого. На поверхности наблюдаются редкие, тонкие стекловатые шипы. Внешний диаметр сферы около 0,11 мм; толщина стенки около 12 г. Хованские слои, г. Плавск, Тульской обл. 150 × . Экз. № 3446/4. ∂ — з — Asterosphaeга pulchra sp. nov. Стенки сферы состоят из очень тонкого внутреннего микрозернистого слоя, массивного среднего (основного), сложенного как бы толстыми стекловатыми лучами, тесно прилегающими друг к другу, и тонкого внешнего, также стекловатого, заполняющего промежутки между приостренными вершинками лучей и делающего поверхность сферы гладкой. В центре «лучей» хорошо видны «осевые каналы» в виде темных линий. Диаметр сферы равен В центре «лучеи» хорошо видны «осевые каналы» в виде темных линип. Диаметр сферы равен 0,20-0,31 мм, толщина стенки около 74-100 р. Возраст тот же. ∂ — сечение через центр сферы. Скважина Пилюгино, глубина 2649-2652 м, $100\times$; e — s — различные тангенциальные сечения: e — скважина Байтуган, глубина 1428-1434 м, $75\times$; s — скважина Пилюгино, глубина 2647-2649 м, s — там же, глубина 2649-2652 м, $100\times$. Экз. №№ 3446/5, 3446/8. u — u — Radiina graciosa sp. nov. Сферическое образование, состоящее из двух ра диально-лучистых сфер, вложенных одна в другую и соединенных посредством тонких лучей, выходящих нередко за пределы внешней оболочки. В лучах видны «осевые каналы». Диаметр внешней сферы колеблется от 0,29 до 0,37 мм, внутренней от 0,10 до 0,14 мм. Расстояние между сферами 0,074—0,10 мм. Число лучей в поперечном сечении 16-24. Толщина стенки сфер 12-18 μ . Возраст тот же Скважина Байтуган, глубина 1428-1434 м, $100\times$. м, μ Sphaerella mirabilis sp. nov. Стенка обычно однослойная стекловидная, иногда возможен очень тонкий внутренний микрозернистый слой. На внешней поверхности короткие выросты или, реже, удлиненные лучи, несущие «осевые каналы», которые проходят через всю толщину стенки. Диаметр сферы 0.22-0.44 мм; толщина стенки 20-44 μ . Возраст тот же: μ — скважина Пилюгино, глубина 2647-2649 м, $100\times$; μ — скважина Байтуган, глубина 1428-1434 м, $75\times.9$ кз. N 3446/12 и 3446/13. Все экземпляры хранятся в лаборатории микрофауны Геологического института Академии наук СССР

они встречаются совместно с остатками харовых водорослей, остракодами и серпулами. Указанные сферы скорее всего имеют растительное происхождение. Сферы типа Sphaerella, Asterosphaera и Radiina очень характерны для верхнефаменских отложений восточной части Русской платформы. Здесь они развиты в условиях открытого моря, но с несколько повышенной соленостью. Массовое их развитие предшествует появлению в разрезе многочисленных фораминифер (в частности появлению эндотир группы Endothyra communis). По мнению В. П. Маслова (устное сообщение), сложные сферы типа Sphaerella, Asterosphaera и Radiina могут принадлежать к остаткам

известковых водорослей Dasycladaceae.

Определенные виды Calcisphaera, Radiosphaera и Polyderma являются руководящими для хованских слоев Центральной части Русской платформы. В районе Заволжья (скважины Байтуган, Красная Поляна, Пилюгино) массовое развитие Sphaerella, Asterosphaera и Radiina позволяет выделить маркирующие слои «со сферовыми водорослями» — в нижней части верхней половины даноково-лебедянской толщи (в основании фораминиферовой зоны Septatournayella rauserae). Наиболее широко распространены Archaesphaera, первое появление которых отмечается еще с кембрия, а наибольшее развитие падает на верхи девона и низы карбона. Единичные Radiosphaera пока известны с верхней части франского яруса, наибольшего распространения они достигают в верхах фамена, встречаются также в некоторых фациях нижнего карбона и башкирского яруса среднего карбона.

Геологический институт Академии наук СССР Поступило 23 II 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Е. В. Быкова, Е. Н. Поленова, Фораминиферы, радиолярии и остракоды девона Волго-Уральской области, М., 1955. ² С. Г. Рахманова, Тр. ВНИИ, в. 9 (1956). ³ И. С. Сулейманов, ДАН, 48, № 2 (1945) ⁴ Н. Derville, Ann. Soc. Geol. du Nord, 70 (1950). ⁵ J. Pia, 2 Congr. de stratigraphie carbonifère, Heerlen, 1935; С. г., 2 (1937). ⁶ W. C. Williamson, Phil. Trans. Roy. Soc. London, 17 (1880).

ГЕОЛОГИЯ

П. М. ХРЕНОВ

К ВОПРОСУ О СООТНОШЕНИИ СКАРНОВ И ГРЕЙЗЕНОВ

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 12 III 1957)

В Амольском рудном поле, расположенном в междуречье Витима и Витимкана (Северо-Западное Забайкалье), наблюдаются взаимоотношения между рудоносными скарнами и грейзенами. В геологическом строении рудного поля принимают участие породы верхнепротерозойской карбонатнульные массивами раннекаледонских биотитов странитов. Среди сланцев выделяются пропластки, первоначально (еслиснять метаморфизм) состоявшие из песчанистого и глинисто-карбонатного, карбонатного и в меньшей степени из глинистого и песчано-глинистого материала. В значительном удалении от гранитных массивов они представтены серицит-карбонатной и серицит-кварцкарбонатной разновидностями.

Граниты образуют два массива площадью 2,5 и 3,8 км², которые в краевых частях, вследствие ассимиляции боковых пород, переходят в гранодиориты и кварцевые диориты. Жильные производные представлены лейкократовыми рапитами, гранит-аплитами и кварцевыми жилами с шеелитом и сульфидами.

В рудном поле имеет место различный метаморфизм осадочных и магмагических образований. Ореол контактового метаморфизма в породах карбонатно-сланцевой свиты вокруг массивов гранитов выражен постепенным изменением минеральных ассоциаций, образующих определенные «температурные ступени равновесия» (4). При приближении к гранитоидам выделяются актинолит-эпидотовая, пироксен-роговообманково-эпидотовая и пироксенплагиоклазовая (роговиковая) степени. Последняя характеризуется развигием следующих минералов: кварц, кальцит, андезин, диопсид, микроклин, скаполит, роговая обманка, биотит, гранат.

В высоко- и среднетемпературные этапы развития постмагматической деятельности наблюдается широкое распространение «контактово-реакционных» образований и явлений «приконтактового выщелачивания» (5), размещение которых контролируется определенными структурными условиями и составом пород. В контакте известково-силикатных роговиков и гранитов образуется «биометасоматические скарны» (5), состоящие из граната (андратит-гроссулярового ряда) и роговой обманки; в меньших количествах присутствуют пироксен, кальцит, кварц, реликты плагиоклаза, эпидот,

лорит, турмалин, флюорит, пирит, молибденит и шеелит.

В массивах биотитовых гранитов процессы высотемпературного приконактового выщелачивания представлены автометаморфизмом, который проскотил как без существенного изменения химического состава пород, так путем метасоматоза, с образованием грейзенов. Автометаморфизм, провившийся в первую стадию становления интрузива, выразился в частичной вереработке первичных минералов гранитов, с образованием «лейкокраовых» двуслюдяных и мусковитовых гранитов, которые наблюдаются главым образом в краевых и реже в центральных частях массива, в виде отельных, разобщенных участков, вероятно, в местах интенсивного проникноения постмагматических растворов.

По мере эволюции магматического очага и все большей его консолидации роисходит образование различных трещин как в массиве гранитов, так во вмещающих породах, превращенных в известково-силикатные рого-

вики. В раскрытые трещины устремляются газово-жидкие растворы, производящие изменение околотрещинных пород — гранитоидов и роговиков. При этом наблюдаются трещины, не заполненные жильным материалом, и трещины, вмещающие кварцевые жилы. Наиболее ранним по времени сле-

дует считать околотрещинное изменение боковых пород.

В биотитовых гранитах около полых трещин наблюдаются грейзены, мощностью 2—5 см с каждого бока трещин, состоящие из кварца и мусковита с редкими зернами пирита, флюорита, сфена, циркона и апатита. В некотором удалении от трещины в грейзене появляются реликты плагиоклаза, микроклина и биотита. В то же время в известково-силикатных роговиках по трещинам образуются контактово-инфильтрационные * (трещинные) скарны. В массиве гранитов трещинные скарны не обнаружены.

Скарнообразование приурочено к системе круто падающих трещин, удаленных друг от друга на 0,5—1,5 м. Тела скарнов имеют форму пластообразных залежей с зазубренными внешними краями. Мощность их в лежачем боку изменяется от 1 до 10 см, а в висячем — от 15 до 30 см. Интенсивность оскарнования убывает от трещины постепенно, но неравномерно, и прослеживается по наличию граната следующего состава: андрадита 42%, гроссуляра 46%. Поверхности обеих стенок трещины усеяны хорошо ограненными кристаллами граната размерам в 3—4 мм. Крупные порфиробласты граната, имеющие пойкилитовую структуру, включают в себя реликты зерен плагиоклаза, кварца, пироксена, микроклина, кальцита. Здесь же обилен сфен, с размером зерен до 0,5 мм. По удалении от трещины в скарне увеличивается содержание пироксена. К внешней стороне пироксенового скарна примыкает биотит-амфибол-кварцевый роговик в котором наблюдается развитие более позднего лучистого актинолита.

Кроме околотрещинного изменения боковых пород наблюдается более позднее по времени изменение около кварцевых жил. В биотитовых гранитах наиболее мощные зоны грейзенов образуются в участках густой инъекции кварцевых жил. Около жил наблюдается типичный кварц-мусковитовый грейзен, состоящий из крупных (до 0,5 см) чешуек мусковита и зерен светлосерого кварца размером от 0,3 до 5 мм. На долю мусковита приходится 45—50% объема породы, но иногда образуется мономинеральная мусковитовая оторочка шириной 1—5 мм. В этом грейзене часто встречаются молибденит, пирит и флюорит. Мусковитовый или кварц-мусковитовый грейзен переходит в мусковит-кварцевый, — в котором содержание и крупность чушуек слюды уменьшается, появляются отдельные реликты микроклина и реже плагиоклаза. Мусковит-кварцевый грейзен сменяется грейзенизированным грани-

том, а затем слабо измененным биотитовым гранитом.

В одной из канав удалось проследить переход нескольких кварц-сульфидных жил из гранитов во вмещающие породы — известково-силикатных роговики (рис. 1). Околожильные изменения вмещающих пород — гранитов и роговиков — в зальбандах кварцевых жил резко различны. В гранитах образуются охарактеризованные выше грейзены, а в известково-силикат ных роговиках — гранатовые скарны, мощностью: в висячем боку 2—3 см а в лежачем 0,5 см. Характерио, что кристаллы граната «растут» по поверх ности контактов вмещающих пород и жилы. Гранат образует изометричные с зональным и анизотропным строением зерна, размерами от 0,06 до 0,6 мм Он ассоциирует с роговой обманкой, эпидотом, хлоритом, карбонатом и квар цем. По мере удаление от зальбанда жилы содержание граната убывает в породе начинает преобладать эпидот, появляется тремолит и актинолит

Из рассмотренных примеров определенный интерес имеет образовани грейзенов в гранитах и скарнов в известково-силикатных роговиках околодной и той же трещины или жилы, — т. е. в различных средах образуютс: различные околотрещинные породы. Нет сомнения в том, что образовани

^{*} Под контактово-инфильтрационными скарнами здесь мы понимаем метасоматически образования около трещин или кварцевых жил, располагающихся в одной какой-либо по роде, в данном случае — в известково-силикатных роговиках.

грейзенов и скарнов около одной трещины или жилы происходило одновременно, так как наложения этих процессов не наблюдалось. В этом случае при образовании грейзенов из гранитоидов выносятся часть щелочей (натрий — полностью), кварц, магний, железо, кальций, тогда как для образования гранатовых скарнов требуется привнос кварца, железа, при обязательном избытке кальция. Подобные процессы могут, по-видимому, иметь место

в стадию кислотного выщелачивания (6), когда, с одной стороны, в гранитоидах происходит последовательное выщеглачивание сначала сильных, а потом и слабых оснований, в том числе железа, а с другой — в известковосиликатных роговиках наблюдается замещение более сильных оснований более слабыми: например, вынос натрия из плагиоклаза, замещение магния трехвалентным железом ит. д. Вероятно, на ранних этапах образования инфильтрационных скарнов и грейзенов наблюдается повышенная активность калия, который, проникая в известково-силикатные роговики, образует мусковит.

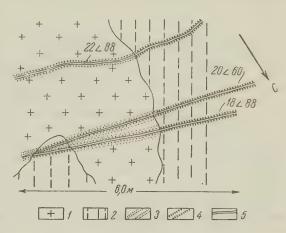


Рис. 1. Образование грейзенов и скарнов в породах разного состава: 1— гранодиорит; 2 известковосиликатные роговики; 3— грейзены; 4— скарны; 5— кварцево-сульфидные жилы

Последний изредка присутствует в гранатовом скарне на коротком интервале по простиранию около той части жилы, которая переходит из гранитоида в роговики. Изучение литературы по затронутому чопросу показывает, что скарновые поля часто сопровождаются грейзенизацией материнских интрузий $\binom{1}{3}$, а некоторые авторы $\binom{2}{3}$, указывали на связь этих процессов.

Таким образом, нам представляется несомненной генетическая связь инфильтрационных околотрещинных и околожильных скарнов и грейзенов. По-видимому, следует поставить вопрос о генетической связи явлений биметасоматоза (карбонатная среда — гранитоид) с автометаморфизмом гранитоидов, как процессов, идущих в разных средах, но являющихся одновременными этапами развития магматического очага, давшего постмагматические растворы, способствовавшие образованию скарнов и грейзенов. Известно (5), что в первичных константах гранитоидов с известняками и доломитами в тех участках, где отсутствуют явления автометаморфизма, в большинстве случаев отсутствуют и всякие признаки скарнообразования. Кроме того, среди оруденелых скарнов обычно наиболее ценными оказываются контактовофильтрационные скарны, связанные с наиболее мощным воздействием постмагматических растворов в трещинных зонах (5). Это заключение, как нам кажется, целиком может быть отнесено и к зонам околотрещинных грейзенов, образующихся в аналогичных условиях, но в алюмосиликатной среде: Нам представляется, что дальнейшее изучение поднятого вопроса может привести к интересным выводам в области теории рудообразования.

Институт геологии Восточно-Сибирского филиала Академии наук СССР

Поступило 9 III 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 Х. М. Абдуллаев, Геология шеелитоносных скарнов Средней Азии, 1947. ² Ив. Ф. Григорьев, Бюлл. МОИП, отд. геол., 28, 4 (1953). ³ Р. Кегг, Geol. Soc. Ат., Мет., 15 (1946). ⁴ Д. С. Коржинский, Тр. Инст. геол. наук. 68, сер. руди. мест., № 10 (1948). ⁵ Д. С. Коржинский, Основные проблемы в учении о магмато генных рудных месторождениях, 1953. ⁶ Д. С. Коржинский, Геохимия, в. 7 (1956). ⁷ М. М. Тетяев, Изв. геол. ком., 37, 7—8 (1918). п. л. шульга, а. м. ищенко, т. а. ищенко и с. в. горак*

новые данные о девоне днепровско-донецкой впадины

(Представлено академиком Н. М. Страховым 11 III 1957)

Девонские отложения в Днепровско-Донецкой впадине впервые были установлены около 20 лет назад в брекчии кепрока солянокупольной структуры около г. Лубны (2). С того времени породы верхнедевонского возраста обпаружены в аналогичных условиях залегания во многих местах впадины. Однако в нормальном, ненарушенном залегании непосредственно над толщей соли эти отложения в Днепровско-Донецкой впадине до последнего времени не были известны. Это обстоятельство затрудняло возможность установления как характера геологического разреза надсолевой толщи, так и ее возраста. Нерешенным оставался также вопрос возраста соли во впадине, хотя некоторые исследователи упорно приписывали ей живетский возраст (5, 6). Не дали ответа на поставленные вопросы ни мощная толща девона, вскрытая опорной скважиной в области Черниговского поднятия и на Михайловской структуре, ни толщи девона, вскрытые в Припятьском прогибе (9, 10). В первом случае — на Черниговском поднятии, — девон сказался представленным преимущественно эффузивными образованиями, и соли в его составе не оказалось (1, 3). Не была вскрыта соль и под девоном в районе с. Михайловки (8). Что касается Припятьского прогиба, то его в последние годы некоторые геологи рассматривают как структурную единицу, независимую в своем развитии от Днепровско-Донецкой впадины (4). Ввиду этого возникало предположение о разном фациальном составе девона в этих двух регионах и о разновозрастности в них соли.

Яспость в вопросе о надсолевых образованиях девона Днепровско-Донецкой впадины внесло глубокое бурение, проведенное в 1956 г. трестом «Укрвостокнефтеразведка» в районе с. Калайдинцы, расположенном к северозападу от г. Лубны. Девопские отложения в ненарушенном залегании на указанной площади вскрыли три скважины: № 3р, расположенная в своде структуры **, № бр, расположенная на юго-восточной периклинали, и № 5р, расположенная на юго-западном крыле структуры. Еще раньше, в 1947— 1948 гг., эти же отложения были вскрыты скважиной № 1р, расположенной на значительном удалении к северо-востоку от свода структуры, но тогда они были ошибочно отнесены Е. О. Новик в визейскотурнейским образованням карбона, хотя этому и противоречил девонский возраст спор, опреде-

ленных в этих отложениях А. М. Ищенко.

В кровле девона на данной площади залегают верхневизейские отложения, в которых Н. Е. Бражниковой определены многочисленные фораминиферы, указывающие на соответствие вмещающих пород нижней половины зоны Сід Допбасса.

чающему, по-видимому, известнякам низов башкирского яруса.

^{*}Участие авторов в работе по данной статье следующее: геологические разрезы изучались П. Л. Шульгой и С. В. Гораком; определения пелеципод — П. Л. Шульги, спор — А. М. Ищенко, флоры — Т. А. Ищенко, остракод — С. В. Горака. ** Структуры построены по геофизическим данным по маркирующему горизонту, отве-

По девону прошли: скважина № 3р — на глубине 1220—2472 м, скважина № 5р — на глубине 1290—3006 м и скважина № 6р — на глубине 1200—2601 м. Пересмотр материалов по скважине № 1р показал, что ею девон был вскрыт на глубине 1700—3224 м.

Две из указанных скважин вскрыли соль: скважина № 3р — на глубине 2285 м и скважина № 6р — на глубине 2130 м. Скважины № 5р и № 1р прошли по надсолевым отложениям соответственно 1716 и 1524 м, но из них

не вышли.

По внешним литологическим признакам надсолевые отложения девона в районе с. Калайдинцы можно подразделить на три толщи: 1) верхнюю — преимущественно аргиллитовую, 2) среднюю — преимущественно песчани

ковую и 3) нижнюю — карбонатно-аргиллитово-песчаниковую.

Аргиллитовая толща вскрыта только скважиной № 1р; в остальных скважинах она, видимо, размыта. Сложена данная толща темно-серыми с зеленоватым оттенком, микрослоистыми, очень плотными аргиллитами. Слоистость аргиллитов зависит от наличия в них тончайших известковых прослоек. В породе присутствуют частые отпечатки растительных остатков и среди них Protolepidodendron sp., местами встречаются скопления остракод, среди которых определены Entomozoe (Nehdentomis) sp. и Richterina (Fossirichterina) sp., и пелециподы — Leptodesma aff. medon Hall, L. mautheri Hall, Posidonomya sp. В фациальном отношении рассматриваемая верхняя аргиллитовая толща представляет собой осадки обширного спокойного

неглубокого моря. Мощность аргиллитовой толщи достигает 50 м.

Песчанистая толща вскрыта всеми скважинами. Сложена она преимущественно песчаниками серыми, кварцево-полевошпатовыми, в большинстве крупно- и неравнозернистыми, иногда гравелитами. Зерна песчаников округлоугловатые, иногда остроугольные. Местами в песчаниках присутствует галька кварца, кремня, полевых шпатов, гранита или обломки аргиллитов и песчаников. Среди песчаников залегают прослои темно-серых с зеленоватым оттенком слюдистых аргиллитов и алевролитов. Как в песчаниках, так и в алевролитах и аргиллитах песчанистой толщи встречаются отпечатки тех же, что и выше, Protolepidodendron sp., Archaeopteris sp. и примитивных членистостебельных растений. В фациальном отношении средняя песчанистая толща представляет собой преимущественно континентальнолагунные образования с возможными прослоями среди них прибрежноморских отложений.

Мощность песчанистой толщи колеблется в пределах 930—1200 м. Уменьшается мощность данной толщи к своду структуры, что объясняется размы-

вом ее верхних слоев.

Карбонатно-аргиллитово-песчанистая толща слагает низы надсолевых отложений девона. Особенно отчетлива данная толща в разрезе скважины № 3р, где она прослеживается на глубине от 2100 до 2285 м. Представлена она чередованием темно-серых слюдистых аргиллитов и алевролитов и серых, преимущественно кварцевых, реже кварцево-полевошпатовых средне- и мелкозернистых, иногда крупнозернистых слюдистых песчаников. В нижней части толщи присутствуют прослои серых плотных мергелей, серых и темно-серых доломитизированных известняков, лишенных каких бы то ни было палеонтологических остатков, и тонкие прослои серых и светлосерых ангидритов. Аргиллиты, алевролиты и песчаники данной толщи в большинстве известковистые, часто содержат обугленные растительные остатки, среди которых определены представители псилофитовой флоры* и те же, что и выше, Protolepidodendron sp., Archaeopteris sp. и примитивные членистостебельные. По общему облику нижняя, надсолевая толща представляет собой типичные осадки постепенно опреснявшейся засолоненной лагуны. Во всем разрезе надсолевых отложений обнаружены обильные споры, характерный комплекс которых состоит из таких форм, как Acanthotriletes anci-

^{*} Предварительное определение Е.О. Новик

strophorus (Lub.) Isch., Leiotriletes nigratus (Lub.) Isch., L. atavus Naum., Retusotriletes communis Naum., Archaeozonotriletes micromanifestus Naum.

Наличие в рассмативаемых образованиях района с. Калайдицы протолепидодендронов и примитивных членистостебельных растений указывает на их верхнедевонский возраст, что подтверждается также составом и других групп ископаемых (пелециподы, остракоды, споры). Этому выводу не противоречит присутствие псилофитов в надсолевой пачке данных отложений, поскольку последние в настоящее время известны в верхнем девоне

Русской платформы (7). Наличие в верхней пачке надсолевых отложений представителей остракод подрода Richterina (Fossirichterina), известных в Германии преимущественно из горизонта Хемберг (Hemberg — Stufe), сопоставляемого с зоной Platvclymenia (11), позволяет уверенно относить эту пачку к фаменскому ярусу и считать, что она, по-видимому, не древнее средней части последнего. Что касается нижней части надсолевых отложений, то уточнение возраста их до яруса по палеонтологическим данным требует дополнительных исследований. Литофациальный характер надсолевых отложений района с. Калайдинцы и их стратиграфическое положение не оставляют сомнения в соответствии их надсолевым образованиям верхнего девона области Припятьского прогиба. Согласно данным А. Я. Стефаненка и А. С. Махнача (9), а также А. В. Фурсенко (10), эти отложения относятся к фаменскому ярусу. Это обстоятельство позволяет предполагать, что и рассматриваемые надсолевые отложения района с. Калайдинцы в Днепровско-Донецкой впадине также относятся к фаменскому ярусу верхнего девона.

Заканчивая краткую характеристику верхнедевонских надсолевых отложений района с. Калайлинцы, нельзя не отметить заметное изменение их литофациального состава в зависимости от положения разреза на тех или иных элементах структры. Вместе с тем литофациальный характер нижних слоев карбона, трансгрессивно залегающих на девоне, остается неизменен-

ным на тех же элементах структуры.

Все вышеизложенное позволяет сделать следующие общие выводы: 1. Девон в Днепровско-Донецкой впадине, кроме соли и подсолевой части, представлен нормально залегающей мощной толщей (около 2000 м) надсолевых верхнедевонских образований, соответствующих надсолевой

толще верхнего девона Припятьского прогиба.

2. Днепровско-Донецкая впадина и Припятьский прогиб в позднедевонскую эпоху представляли собой единую геологическую структуру с единой этапностью геологического развития и осадконакопления, происходившего как в континетально-лагунных условиях, так и в условиях неглубокого моря, которое временами имело непосредственное сообщение с девонским морем Западной Европы.

3. Имеющиеся данные указывают на то, что в позднедевонское время в рельефе Днепровско-Донецкой впадины выступали соляные структуры, аналогичные Калайдинской, которые претерпели полный срез к началу от-

ложения возрастных аналогов низов зоны Суд Донбасса.

Институт геологических наук Академии наук УССР

Поступило 5 XI 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 Л. Г. Бернадская, Ф. Е. Лапчик, И. С. Усенко, ДАН, 95, № 6! (1954). ² А. М. Куцыба, П. Л. Шульга, Геол. журн. АН УССР, 5, в. 3, 157 (1954). ³ Ф. Е. Лапчик, Докл. АН УССР, № 5 (1954). ⁴ И. Ю. Лапкин, Е. М. Люткевич, ДАН, 108, № 5, 927 (1956). ⁵ К. Й. Новік, Геол. журнал АН УССР, 12, в. 2, 10 (1952). ⁶ Е. О. Новик, Изв. АН СССР, сер. геол., № 2, 44 (1954). ⁷ А. С. Пересветов, Бот. журн. АН СССР, 35, № 6, 647 (1950). ⁸ С. В. Семихатова, В. А. Назарова, Л. Ф. Ростовцева, ДАН, 92, № 1 (1953). ⁹ А. Я. Стефаненко, А. С. Махнач, Изв. АН БССР, № 4, 29 (1953). ¹⁰ А. С. Фурсенко, ДАН, 90, № 2, 239 (1953). ¹¹ А. Вавіеп, Zs. Deutsch. Geolog. Gesellsch., 106, № 2, 217 (1955).

МИНЕРАЛОГИЯ

Л. С. БОРОДИН и И. И. НАЗАРЕНКО

ОБ ОТСТУПЛЕНИЯХ МИНЕРАЛОВ ГРУППЫ ПИРОХЛОРА ОТ ТИПОВОЙ ФОРМУЛЫ А₂В₂Х₇ И О РОЛИ КОНСТИТУЦИОННОЙ ВОДЫ В КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКЕ ПИРОХЛОРА

(Представлено академиком Н. В. Беловым 12 II 1957)

Состав минералов группы пирохлора колеблется в довольно широких пределах и отличается значительной сложностью. К числу главных компонентов пирохлора относятся Nb, Ta, Fe, Na, Ca, TR, Th, U и ряд других. Поэтому выполнение достаточно точного полного химического анализа минерала до сравнительно недавнего времени было сопряжено с целым рядом методических трудностей (разделение ниобия и тантала в присутствии титана, определение малых количеств редких земель, несовершенство методов

определения фтора и другие).

К настоящему времени опубликовано довольно большое количество полных химических анализов минералов группы пирохлора. Однако, приступая к пересчетам анализов, от использования большей части из них приходится отказаться, прежде всего из-за величины общей погрешности анализов, поскольку суммарное количество компонентов значительно больше или, наоборот, меньше 100% (2). При критическом рассмотрении результатов анализов часто нельзя гарантировать достаточной точности также и в определении ряда главных компонентов пирохлора (ниобий, тантал, уран, редкие земли и другие).

В связи со сказанным выше авторы, изучавшие в последние годы пирохлор из ряда месторождений, использовали в настоящей статье преимущест-

венно оригинальные данные (табл. 1).

Пересчет химических анализов пирохлора, приведенных в табл. 1, показывает, что в ряде случаев его состав не укладывается в типовую формулу $A_2B_2X_7$ или $A_2B_2O_6(OH,\,F)$ (табл. 2). В то же время по другим характерным признакам (например морфология кристаллов и основные физические свойства) и данным рентгено-структурного анализа принадлежность всех исследовавшихся минералов именно к группе пирохлора несомненна.

Отступления от формулы $A_2B_2X_7$ обусловлены, прежде всего, тем, что количество катионов в группе A всегда меньше, чем в группе B. При этом наибольшие отклонения от теоретической формулы наблюдаются в тех случаях, когда в состав минералов входит вода. Указанное обстоятельство было отмечено еще Φ . Махачки при рассмотрении особенностей состава таких разностей пирохлора, как мариньякит и гатчеттолит (3). И, по его мнению, оно обусловлено процессом вторичного изменения, при котором происходит выщелачивание относительно крупных катионов — кальция и натрия. Одновременно в решетку минерала для компенсации выщелоченных катионов входит положительно заряженный ион водорода H^+ . Другими словами, в составе гидратированных разностей пирохлора часть общего количества воды должна входить в анионную группу $O_6(OH, F)$, другая — в группу A, компенсируя дефицит щелочных катионов. Кроме того, как это подтверждается данными некоторых анализов, дефицит катионов

	è 10	ат.	·	4988	1	369	77	144	96	Q Q		117	2068	140			1356	22		3760	1	684							рнеман- лнкевич
	Ž	%		16,31	1	2,95	0,36	0,73	0 70			3,33	11,60	1,40			4,20	0,10	1,91	3, 39	1 7	1,30			100,19	0,55	99.66		И.Д. Борнеман- Старынкевич
	6 5	ат.		4214	14	Z	56	166	178	290		6	2233	104	45		1038	42	0	0085	1	300							
	2	%		56,16	0,30	00.1	0,45	0,85	4,70	4,78		0,27	12,53	1,07	0,32		3,22	0,7,0	7,32	1,40 2,40 2,80	20,00	0,57		i	100,71	0,24	100,47	T &	4 · O · ·
	∞	ат.		3998	4070	126	20		238	700			1251		89	-	1038	#68		ı	6600	821			_			шпопи	
	2	%		53,18	8 30	1,55	0,40		6,30	11,51			7,02		0,48	0	3,22	0,40		i	5,94	1,56		400 00	00,00	20,0	99,35	Ю. Н. Книповин	
	Nº 7	ат.		4410	3 %	293	179	71	138	114	ţ	1.7	3025	-	16	1536	200		2380	ı		1726						-	- 9
	5	%		58,63	2,54	3,65	1,43	98,'0	3,06	1,87		6,43	16,96	77	0,11	4.82	!		2.14	. {	2,43	3,28	- -	101 97	1.38		99,89		C. M. Shimzekus Neve o
20 20 20	0 2	ат.	3	6695	698	118	109	200	167	114		0,00	7840	40	O.T.	1762	55		1470	1	1600	2000							-
	3	%	27 69	02,43	2,95	1,46	0,87	G, 10	4,42	1,08		CJICALEI 45 09	26,01	0.07		5,46	0,26		1,32	J	1,4,4	3,80		101,53	1,60		66,63		C
% 7C	- 1	ат.	74.20	248	306	216	325	625	89	08	47.9	9675	202	14	16	876			3620	1		1053							- 7 % t
-		%	25 48	5,50	2,45	2,66	0.32	0,25	1,79	06,1	EU 7 }	15.03		0,10	0,24	2,94	27 0	, ,	3,25	1	4,02	2,00		101,18	0,84	400 92	100,001	K O	С. П. Стоялова, № 4
No 4		ат.	4660		537	130	57		70	100		3130		11	10	1673			1	1700	2157		-				_	арен	
		%	61.95	.	4,29	1,60	0,29		1,84	3		17,55		0,08	0,15	5,18	0	0,5/		1 -	1,03	- Or 'F		101,62	1,73	68.66		. H a 3	a, Ne 2 —
No 33		ат.	7490	2	917	00 76	20.2		151			35.65		9	1	1667		0	1000	1	2197	1						N.	С. Бородина, №
		%	59,75	0,16	7,33	0,80	0,36		2,48			20,01		0,04	, ,	5,17		6	08,0	0 03	4.04			101,86	1,70	100,16			Л.
No 2	_	ат.	2950	2008	700	300	777	527	145		477	2120	19	7.1	000	13hZ		9760	7.400		1755								5, 6, 7 — образцы
		%	39,24	6,65	5,55	2,40	0,23	0,21	2,39		12,90	11,89	6,20	0,12	66 7	77,77		9 9 6	1 1	2.69	3,33		- 00	101,59	1,40	100,29			5, 6, 7 -
No 1		вт.	0525	G 98	127	06	29	450	149	21	\$	2610		~	en :	2235	70	580	3 1		1900								M 1, 3,
		%	6,307	0,20	1,56	0,72	0,15	3.98	2,44	0,24	0,50	14,63	į	0,01	0,08	6,93	77,0	0.59	! !	0,66	3,60		104	101,47	7,0°	99,95			ние, №
	Окислы		Nb_2O_k	TiO	ZrOz	Fe_2O_3	AI ₂ O ₃	Tho,	$\Sigma \operatorname{Ce}_2 \tilde{O}_3$	Z. Y ₂ O ₃	100	CaO	SrO	MnO	BaO	Na ₂ O	K20	310 ₂	H20-	Ппп	Ц		ī.	-0~F2	(Сумма	Аналитик	-	Примечание, №№ 1, 3,

Примечание, №№ 1, 3, 5, 6, 7 — образцы Л. С. Бородина, № 2 — С. П. Стоялова, № 4 — С. М. Эпштейна, №№ 8, 9, 10 — Э. М, Бонштедт-Куплетской,

может быть обусловлен также и вхождением в кристаллическую решетку катионов большей валентности за счет низковалентных катионов. Однако изоморфные замещения такого типа в случае пирохлора могут быть т о лыко в группе А, так как при изоморфных замещениях в группе В невозможны катионы с валентностью большей, чем у ниобия.

Таблица 2

7.5		Количества атомов по группам													
Компоненты	№ 1	№ 2	№ 3	Nº 4	№ 5	№ 6	No 7	№ 8	№ 9	№ 10					
Nb ⁵ + Ta ⁵ + Tj ⁴ + Zr ⁴ + Fe ³ + Al ³ + Mg ² +	1,79 0,12 0,05 0,03 0,01	1,20 0,12 0,33 0,19 -0,12 0,02 0,02	1,59 	1,69 0,19 0,05 0,05 0,05 0,02	1,55 0,09 0,11 0,08 0,12 0,03 0,02	1,75 0,14 0,04 0,04 0,03	1,65 0,02 0,12 0,11 0,07 0,03	1,53 0,40 0,05 0,02	1,56 0,36 0,02 0,02	1,78 0,13 0,0 2 0,02 0,02 0,05					
Сумма катионов в группе <i>В К</i>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00					
Th ⁴⁺ Σ Ce ³⁺ Σ I ³⁺ U ⁴⁺ U ⁵⁺ Ca ²⁺ Sr ²⁺ Mn ²⁺ B a ²⁺ Na ¹⁺ K ¹⁺	0,06 0,06 0,01 0,01 0,98 - 0,84 0,02	0,05 0,06 	0,05 - 1,27 - 0,59	0,02 0,04 — 1,14 0,01 0,60	0,02 0,03 0,05 0,99 0,01 0,35	0,06 0,04 - 1,06	0,05 0,04 } 0,01 1,14 0,01 0,58	0,09 0,27 — 0,48 0,03 0,40 0,04	0,07 0,11 — 0,82 0,04 0,02 — 0,38 0,02	0,01 0,04 0,74 0,05 0,48 0,01					
Сумма катионов в группе <i>А</i> К _А	1,98	1,73	1,91	1,81	1,45	1,82	1,83	1,31	1,46	1,33					
Сумма анионов в группе Х* Сумма валентн. катио- нов W к	7,00	7, 14 12,59	7,00	7,07 12,76	7,00	7 ,06	7,18	7,48 12,14	7,08	7,04					
$\Pi^{\sum} \begin{cases} O_{5^{-}} \\ OH_{1^{-}} \\ L_{1^{-}} \end{cases}$	0,72 0,21 6,07	0,71 0,7 (5,5 9	0,75 0,41 5,84	0,80 0,44 5,76	0,39 1,34 5,27	0,74 0,44 5,82	0,65 0,53 5,82	03,1 15,5 51,4	0,11 1,64 5,25	0,24 1,73 5,03					
Сумма анионов в группе _щ X**	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00					
Избыток воды, вес. %	_	0,62	_	0,43	_	0,17	0,86	2, 0	0,44	0,18					

^{*} Сумма получена с учетом всего количества воды: H_2O^+ в анализах №№ 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9 и потери при прокаливании — в анализах №№ 4, 8, 10.
** Количество одновалентных анионов рассчитано по величине $W_{K^{\bullet}}$

Учитывая все указанное выше, при пересчете химических анализов пирохлора наиболее целесообразно исходить из постоянного числа катионов группы В, что и было нами сделано (табл. 2). Степень замещения кислорода гидроксилом и фтором и, соответственно, общее количество последних в анионной группе (H_{Σ}) определяется по сумме валентностей катионов (W_{κ}): $H_{\Sigma} = 14 - W_{\kappa}$, где $14 - M_{\kappa}$ максимально возможное количество отрицательных валентностей для 7 единиц анионов кислорода.

Как было показано одним из авторов на примере некоторых минералов группы перовскита, дефицит катионов группы А может компенсироваться соответствующим замещением части ионов кислорода ионами гидроксила (1). Аналогичное явление в случае минералов группы пирохлора приводит к тому, что сумма атомных количеств ионов кислорода,

как правило, меньше 6, и, соответственно, суммарное количество ионов

гидроксила и фтора больше единицы.

Отмеченную выше связь между дефицитом катионов группы A и гидратацией пирохлора особенно наглядно можно показать графически, если рассматриваемые анализы расположить последовательно по степени

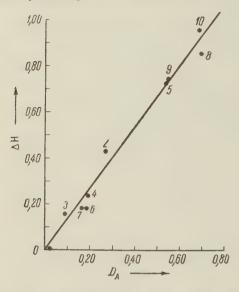


Рис. 1. График зависимости между дефицитом катионов в группе $A(D_A)$ и дополнительной гидратацией (ΔH)

возрастания дефицита катионов в группе A (рис. 1). При построении графика для каждого анализа по оси абсцисс отложена величина дефицита (D_A) , равная разности между теоретическим и действительным (K_A) количеством катионов в группе A: $D_A = 2 - K_A$; по оси ординат — величина «дополнительной гидратации» (ΔH) , равная разности между рассчитанными по анализу общим количеством одновалентных анионов (H_Σ) и их теоретическим количеством OH + F = 1; $\Delta H = H_\Sigma - 1$.

Расположение точек на графике свидетельствует о том, что по мере возрастания величины D_A несколько увеличивается и величина разности $\Delta H - D_A$. Это позволяет сделать вывод, что в наименее гидратированных разностях пирохлора выщелачиваются практически только одновалентные катионы — натрий и калий. При даль-

нейшем развитии этого процесса к ним присоединяются и более высоковалентные катионы, прежде всего кальций.

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов Академии наук СССР Поступило 12 II 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Л. С. Бородин, ДАН, 95, № 4 (1954). ² С. Hintze, Handbuch der Mineralogie, 1938. ³ F. Machatschki, Chemie der Erde, 7, 1932.

МИНЕР АЛОГИЯ

А. В. РУДНЕВА и Т. Я. МАЛЫШЕВА

О СОСТАВЕ МИНЕРАЛОВ ГРУППЫ АНОСОВИТА

(Представлено академиком Й. П. Бардиным 11 IV 1957)

Главная минеральная фаза высокотитановых шлаков — аносовит, отсрытый в Институте металлургии АН СССР при непосредственном участии «К. Х. Тагирова (1), — неоднократно подвергалась минералогическим и ментгеноструктурным исследованиям. Известны рентгенографическая хамактеристика и химический состав аносовита (2,3). Получены краткие сведе-

ния о поведении аносовита в отраженном свете (4).

Детальными рентгеноструктурными исследованиями (5,6), минералов группы аносовита установлено, что эти минералы образуют изоморфный эяд твердых растворов на основе структуры окиси Ti₃O₅, что предполагает начительную изменчивость в составе отдельных минералов этой группы как в содержании титана в различных степенях окисления, так и в содержании отдельных компонентов изоморфного ряда (двух- и трехзарядного железа, магния и алюминия).

В результате проведенных работ по синтезу и оптическому исследованию минералов группы аносовита установлены пять его разновидностей (7), а именно: 1) титан-три—аносовит, с преобладанием трехзарядного титана; 2) титан-четыре — аносовит, с преобладанием четырехзарядного титана; 3) магний — аносовит, с содержанием в твердом растворе магния; 4) алюминий — аносовит, с содержанием в твердом растворе алюминия; 5) железистый аносовит, с содержанием в твердом растворе железа. Существование этих разновидностей указывает на возможность широких пределов концентрации в аносовите полуторных окислов титана, магния, алюминия и железа.

Если исходить из этого, то общая формула минералов аносовитовой группы может быть представлена в следующем виде (7):

m [(Ti, Al, Fe)₂O₃·TiO₂] n [(Ti, Mg, Fe) O·2TiO₂]

Однако если при исследовании двух- и трехкомпонентных систем с титаном было доказано существование разновидностей аносовита вполне определенного химического состава, то значительно сложнее оказался вопрос об определении состава минералов аносовитовой группы, образующихся в многокомпонентных шлаковых системах с титаном при одновременном присутствии окислов алюминия, магния, марганца и железа, т. е. всех тех элементов, которые могут изоморфно замещать двух- и трехзарядный титан в решетке аносовита.

Химический состав выделенной из силикатных титановых шлаков аносовитовой фракции (путем отбора под лупой и центрифугирования в тяжелых жидкостях), по данным работы (2), показывает одновременное присутствие в решетке аносовита заметного количества (в сумме до $10\,\%$) ионов $A1^{+3}$, Fe^{+3} и Mg^{+2} . Однако степень отделения аносовита от силикатных составляющих и стекла при указанном выше способе нельзя признать удовлетворительной, так как в химическом составе аносовитовой фракции содержалось еще до 4-8% SiO₂ и до 2-4% CaO, т. е. тех компонентов, которые заведомо не могут входить в решетку аносовита.

Данные химических анализов аносовита, приведенные в работе (3) говорят о возможности значительно большей чистоты отделения этого минерала от силикатных составляющих при выделении его из шлака тем же методом центрифугирования. Тем не менее этот метод не всегда может дать хорошие результаты из-за мелких размеров кристаллов аносовита, препятствующих его полному отделению механическим путем от силикатных составляющих шлака. Это подтверждают данные (3), согласно которым содержание в аносовитовой фракции SiO2 нередко все еще достигает 1,5—2% и СаО 1,5%.

Нами, при консультации Ю. Т. Лукашевич-Дувановой, был разработан метод химического разделения минеральных фаз высокотитановых шлаков, обеспечивающий практически полное отделение аносовита от силикатной

фазы (стекла) и корольков металла.

Для исследования были взяты образцы высокотитановых шлаков, полученных в заводских условиях. Состав этих шлаков ограничивался тремя минеральными фазами: аносовитом, стеклом и корольками металла (до 3%) проба шлака подвергалась 200 меш (рис. 1). Измельченная до



Рис. 1

кипячению (в течение 1,5—2 час.) в 10% соляной кислоте для удаления корольков металла, после чего обрабатывалась длительным кипячением в 30% растворе едкого кали до полного растворения стекла. Обработка считалась законченной, прибавление 50% соляной кислоты не вызывало выпадение коллоидного осадка кремнезема. Проверка показала, что содержание кремнезема в выделенном из шлака аносовите не превышало 0,06—0,21% (см. табл. 1).

С другой стороны, данные рентгеновского исследования химически выделенного аносовита показали полное сохранение его первоначальной структуры. Таким образом, было доказано экспериментально, что раствор ед-

кой щелочи, полностью разлагая силикатные составляющие титановых шлаков, не оказывает никакого растворяющего действия на минералы группы аносовита.

Сравнение химического состава аносовита, выделенного из трех заводских шлаков, показывает, что по типу он относится к разновидности магпий-алюминий-аносовита и характеризуется довольно постоянным содержанием MgO (соответственно 6,7; 6,5; 5,9%) и Ti₂O₃ (соответственно 27,9; 28,3; 29,9%) и сравнительно близкими величинами содержания осталь-

ных компонентов (см. табл. 1).

Расчет состава химически выделенного аносовита (см. табл. 2) показывает непостоянство соотношения в нем высших, полуторных и низших окислов, причем у двух (№№ 228 н 170) из трех взятых для примера образцов это соотношение достаточно точно отвечает стехиометрическому отношению установленной для аносовита формулы и один (№ 172) показывает избыточное количество полуторных окислов, с преобладанием Ті2О3. Близость результатов опытов по определению привеса при окислении и расчетных данных по привесу FeO и Ti₂O₃ (см. табл. 1) исключает вероятность нахождения TiO2 в апосовитах анализированных образцов, несмотря на то, что, по рентгеновским данным, содержание двухзарядных ионов в решетке аносовита

ризнается возможным (5,6). Наличие в составе аносовита избытка трехли четырехвалентного титана (см. также (3)), связано, по-видимому, условиями плавок. Опытами по восстановлению аносовита (7) было устатовлено, что концентрация Ti₂O₃ в решетке аносовита (до выделения Ti₂O₃

		Образе	ец № 228			Образ	ец № 172		Образе	ц № 170	
Окисел	хим.	состав		д. ком-	XHM.	состав		д. ком-	хим. состав		
	шлак	аносо- вит	аносо- вит 78,7%**	стекло 21,3%	шлак	аносо- вит	аносо- вит 71,8%*	стекло 28,2%	шлак	аносо- вит	
SiO ₂ TiO ₂ Al ₂ O ₃ S ₂ O ₃ Ti ₂ O ₃ MnO CaO MgO FeO Fe Σ	5,94 45,96 7,13 6,58 24,73 1,652 0,32 7,41 — 1,48 101,20	56,60 6,65 0,60 27,90 0,67 0,26 6,70 3,03	5,1 0,5 21,4 0,5 0,2 5,2 2,3 78,7	5,9 2,5 2,0 6,1 3,3 1,1 0,1 2,2 — 23,2	7,00 43,77 9,58 4,45 24,51 1,73 0,822 8,00 — 1,38 101,24	50,10 12,58 1,69 28,31 0,58 0,06 6,52 1,14	35,6 9,0 1,2 20,1 0,4 0,1		7,02 38,75 8,14 40,82 27,98 1,25 0,20 7,36 — 3,51 105,03	8,13 1,18 29,9 0,48 0,04 5,99 2,38	
Привес рассч. по FeO и Ti ₂ O ₃		3,8				3,35				3,86	

^{*} Химические анализы аносовитовых фракций и шлаков проведены Г. И. Горшениной. ** По данным количественного минералогического анализа.

в виде самостоятельной фазы) может изменяться в весьма широких пределах. Это дает основание считать, что для образования аносовита с избытком Ti₂O₃ требуются условия для более сильного восстановления шлаков, чем для образования аносовита с избытком TiO₂. Следует отметить, что образцы

Таблица 2 Расчет химического состава аносовита

образца	Мол	екулярные коли соотношен		Формула					
23	TiO2	(Ti, Al, Fe) ₂ O ₃	(Mg, Fe, Mn) O						
228	707(16)	263(6)	218(5)	5 [(Mg, Fe, Mn) O·2 TiO ₂] 6 [(Ti, Al, Fe) ₂ O ₃ ·TiO ₂]					
172	626(32)	333(17)	193(10)	11 [(Mg, Fe, Mn) O·2 TiO ₂] 10 [(Ti, Al, Fe) ₂ O ₃ ·TiO ₂] 6 (Тi, Al, Fe) ₂ O ₃ (избыточ-					
170	659(7)	294(3)	189(2)	ное количество) 2[(Mg, Fe, Mп) O·2TiO₂] 3[(Ti, Al, Fe)₂O₃·TiO₂]					

аносовита с избытком ${\rm Ti}\,{}_2{\rm O}_3$ (разновидность титан-три-аносовита) имеют в отраженном свете характерный розовый оттенок, что позволяет легко отличать ее от других разновидностей аносовита, даже не прибегая к химическому анализу. Нарушение стехиометрических отношений в составе аносовита в сторону избытка катионов ${\rm Ti}^{+3}$ или ${\rm Ti}^{+4}$ находится в соответствии с возможностью их взаимозамещаемости в решетке аносовита, благодаря весьма близким ионным радиусам.

Проведенное исследование дало возможность помимо уточнения химического состава аносовита выявить распределение компонентов между минеральными фазами шлака. Для этой цели были произведены количественные минералогические анализы шлаков (образцы №№ 228 и 172, см. табл. 1) точечным методом А. А. Глаголева (8). Контролем точности служили подсчеты одного и того же шлифа, разница между которыми оказалась не превышающей 0,5—1,0%. Результаты анализов приводились к весовым процентам умножением числа точек на удельные веса минералов, принятых

для аносовита 4,29 (5) и для стекла 3,8. Полученные данные не позволяют сделать каких-либо заключений о характере рапределения между аносовитом и стеклом таких компонентов, как MgO, Fe₂O₃ и MпO, кроме общего вывода о присутствии их одновременно в обеих фазах шлака. Весьма низкое содержание Al₂O₃ в стекле (2,0 и 0,6%, см. табл. 1) находится в противоречии с составом более полно раскристаллизованных заводских шлаков, в которых при аналогичном содержании Al₂O₃ (порядка 7—10%) отмечается повсеместное присутствие титанавгита и шпинели — минералов с достаточно высокой кристаллизационной способностью. Отсюда напрашивается предположение о том, что стекловая структура исследованных заводских шлаков может характеризовать собой именно те случаи, когда весь алюминий, содержащийся в шлаке, практически полностью входит в решетку аносовита.

Присутствие в стекле до 8,2% TiO₂ и до 4,4% Ti₂O₃ свидетельствует о том, что некоторое количество аносовитовой составляющей, вероятно, находится в растворенном состоянии в стекле. Неполноту выделения кристаллов аносовита можно объяснить весьма быстрым охлаждением исследован-

ных шлаков, полученных в заводских условиях.

Поступило 27 IX 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Э. В. Брицке, К. Х. Тагиров, И. В. Шманенков, Изв. АН СССР, ОТН, № 1—2 (1941). ² Д. С. Белянкин, В.В. Лапин, ДАН, 80, № 3, 421 (1951). ³ В. В. Лапин, Н. Н. Курцева, О. П. Острогорская, ДАН, 109, № 4 (1956). ⁴ В. В. Лапин, Тр. ИГЕМ АН СССР, в. 2 (1956). ⁵ А. А. Русаков, Г. С. Жданов, ДАН, 77, 3 (1951). ⁶ Г. С. Жданов, А. А. Русаков, Тр. Инст. кристаллогр. АН СССР, в. 9 (1954). ⁷ К. Х. Тагиров, А. В. Руднева, М. С., Модель, Е. Б. Дмитровский, Сборн. тр. Инст. металлургин АН СССР, 1, 1957. ⁸ А. А. Глаголев, Геометрические методы количественного анализа агрегатов под микроскопом, М., 1941.

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

В. Е. РУЖЕНЦЕВ

ПРОЦВЕТАНИЕ И КРИЗИСЫ В ИСТОРИИ АММОНОИДЕЙ

(Представлено академиком Н. С. Шатским 21 V 1957) ·

По новейшей классификации аммоноидеи состоят из пяти отрядов; это — вгониатиты (нижний девон — верхние триас), гониатиты (средний девон — верхня пермь), климении (верхний девон — основание нижнего карбона), цератиты (нижняя пермь — верхний триас) и аммониты (нижний триас — верхний мел). Общая филогения этих отрядов разработана довольно хорошо, но для уточнения многих частных вопросов нужны еще большие исследования, основанные на онтогенетических наблюдениях. Синтез всего материало показывает, что история развития аммоноидей, длившаяся шесть геолоческих периодов (девон — мел), или 240 миллионов лет, распадается на несколько этапов, разделенных моментами кризиса (рис. 1).

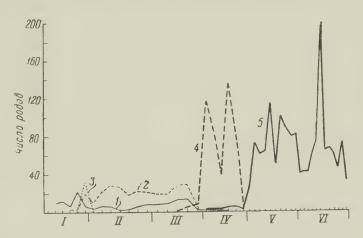


Рис. 1. Число родов аммоноидей в ярусах. I— девон, II— карбон, III— пермь, IV— триас, V— юра, VI— мел; I— агониатиты, 2— гониатиты, 3— климении, 4— цератиты, 5— аммониты

Девонский этап. Аммоноидеи обособились от бактриотоидей в начале девонского периода, в момент крупнейшей регрессии моря. Отсюда можно заключить, что на первых порах они обитали в геосинклинальных бассейнах. Все большее свертывание раковины и усложнение перегородки были приспособлениями для активного плавания и захвата морских пространств. Крупные размеры раковины у древнейших агониатитов (до 30 см) также подтверждают эту мысль.

В истории Земли девонский период выделяется относительным орогеническим покоем и высоким положением материков. Однако в конце среднедевонской эпохи началась трансгрессия моря, достигшая максимальных размеров во франском веке, после которого местами снова происходила регрессия. Вомногих геосинклиналях в конце девона произошли довольно силь-

ные тектонические движения. В связи с этими событиями нужно рассмат

ривать и эволюцию аммоноидей.

Агониатиты и отделившиеся от них в среднем девоне гониатиты спокойно постепенно усложняя свою организацию, развивались до конца среднедевое ской эпохи. В начале франского века, т. е. во время развития трансгрессии произошла вспышка формообразования — среди агониатитов возник подотря Gephuroceratina, представители которого достигли исключительно высокого организации (Pharciceratidae, Beloceratidae), наибольшей не только средовенских, но и среди всех нижнекаменноугольных групп. Масса аммоноидей обитавших прежде в геосинклиналях, проникла в это время во внешние не ритовые зоны эпиконтинентальных морей. В фаменском веке, когда наметилась регрессия, появились новые группы агониатитов и гониатитов, временами довольно сложно организованных; но особенно пышного расцвети достигли климении, обособившиеся от агониатитов несколько раньше и развивавшиеся в целом в направлении все большего упрощения структуры По богатству и разнообразию аммоноидей фаменский век стоит на первотместе во всем девонском периоде.

На границе девона и карбона произошел первый кризис в истории амменоидей. Размеры его характеризуют следующие показатели. В фаменског ярусе известно всего 59 родов, из которых 32 принадлежат к отряду климений В конце девона подавляющее большинство фаменских родов вымерло, климении окончательно исчезли в самом начале турнейского века, и только дв слабо специализированные ветви, о которых будет сказано дальше, при

способились к новым условиям жизни.

Каменноугольно-пермский этап. В нижнекамет ноугольную эпоху началась новая трансгрессия. В турнейском веке преобладали еще мелководные моря, во многих местах переходившие в торфяники Затем трансгрессия нарастала и наибольшего развития достигла в визейско время. На границе нижнего и среднего карбона местами происходили текто нические движения. Более поздние каменноугольные эпохи и особенно пермский период отличались резким и все возраставшим усилением орогенезно сокращением морей. В этих условиях наиболее жизнеспособными оказались гониатиты.

В турнейском веке аммоноидей было очень мало, и в целом они был а гораздо примитивнее верхнедевонских. Затем, в связис развитием трансгрес сии, их количество и разнообразие все более возрастали, достигнув максимума в намюре, после чего наметился некоторый перелом. Новая вспышкформообразования, связанная уже с резким сокращением морей, происходиля в конце нижнепермской и начале верхнепермской эпох, когда возникл самые сложные в морфологическом отношении типы гоннатитов. Развити каменноугольно-пермского комплекса аммоноидей началось с двух очен простых родов, из которых Protocanites принадлежал к агониатитам, Imitoceras — к гопиатитам. Первый был родоначальником длительно существовавшего подотряда Prolecanitina. От второго в начале карбона отде лился и быстро завоевал жизненное пространство обширный подотряд Gonia titina. В дальнейшем развитие двух ветвей шло параллельно, но с постоян ным преобладанием гониатитов над агониатитами. В своем поступательном движении каждая из этих групп достигла наибольшего совершенства и очени высокой организации в пермское, особенно в верхнепермское время (Medli cottiidae среди агоннатитов, Cyclolobidae среди гониатитов). Каменно угольно-пермские аммоноидеи обитали в геосипклинальных бассейнах, пре имущественно в спокойных заливах и бухтах, а также в более удаленной о берега зоне шельфа. Они явно избегали открытых пространств эпиконтинен тальных морей. В артинское время от агониатитов отделился отряд церати тов, представители которого на протяжении пермского периода были и малочисленны и низко организованы.

На границе перми и триаса произошел второй кризис в истории аммоно идей. Если в сицилийское (казанское) время, по имеющимся данным, суще

ствовало 45 родов, то в джульфинское (=татарское) время—уже только 15, из которых восемь относились к цератитам. К началу мезозойской эры необычайно резко сократились морские бассейны. Платформенные и шельфовые моря исчезли, а вместе с ними прекратили существование и приспособленные к этим условиям аммоноидеи. Гониатиты вымерли полностью и бесследно, агониатиты перешли в триас (Sageceratidae) и, хотя имели очень высокую организацию, до конца своего существования были группой совершенно подчиненного значения. Господство перешло к цератитам.

Триасовый этап. Основными особенностями триасового периода были: высокое положение континентов и полное их осущение, сокращение геосинклинальных морей, относительный орогенический покой. В таких условиях начался новый этап в эволюции аммоноидей, которая шла теперь под знаком приспособления к глубоководным условиям сохранившихся гео-

синклинальных бассейнов.

В пермских морях цератиты не играли сколько-нибудь существенной роли. По своей организации они были несравненно ниже одновременных с ними агониатитов и гониатитов. В нижнетриасовую эпоху развитие цератитов получило необычайно бурные темпы — из скифских отложений известно уже около 120 родов. Резкое сокращение шельфовых зон оттеснило выжившие группы в более глубоководные участки геосинклинальных бассейнов, где и началось быстрое их размножение и приспособление к новым экологическим условиям. Основная масса нижнетриасовых цератитов по сложности структуры уступала многим пермских группам, но затем постепенно выделились ветви с весьма высокой организацией (Arcestidae, Pinacoceratidae), существовавшие почти до конца триасового периода. В скифское время от цератитов отделился отряд аммонитов, представители которого на протяжении всего триасового периода были не только весьма малочисленны, но и сравнительно низко организованы.

На границе триаса и юры произошел третий кризис в истории аммоноидей. Если из норийских отложений известно около 90 родов, то из ратских — уже только пять. К концу триасового периода все цератиты вымерли, но сохранился небольшой подотряд Phylloceratina — долговечная, слабо изменчивая группа аммонитов, исходная для всех последующих филогенети-

ческих ветвей этого отряда.

Юрско-меловой этап. История Земли в юрском и меловом периодах была сложной и многообразной. Резко выраженные геократические условия триаса после крупных орогенических движений на рубежах триаса и юры сменились талассократическими условиями. В юрском периоде происходила колоссальная трансгрессия, прерванная поднятиями и регрессивными движениями нижнемеловой эпохи. Вторая огромная трансгрессия началась в альбское время и продолжалась всю верхнемеловую эпоху. Только в самом конце мела, в связи с резким усилением поднятий, произошла большая регрессия.

Новые условия жизни оказались пригодными только для представителей подотряда Phylloceratina. От него в юрское время отделились два новых подотряда аммонитов — Lytoceratina и Ammonitina. В дальнейшем все три группы существовали до маастрихтского века мелового периода. Первые юрские аммониты отличались еще сравнительно пизкой организацией, но затем в процессе сложной эволюции достигали временами большого совершенства. Новой и характерной чертой юрско-мелового этапа развития аммонои-дей был широкий захват ими эпиконтинентальных морей, сопровождавшийся

многообразным приспособлением к новым условиям жизни.

В связи с нижнемеловой регрессией в развитии аммонитов наметился временный упадок. Из юрских групп только представители надсемейств Oppeliaceae и Perisphinctaceae доживали в нижнемеловую эпоху. В это же время одна за другой возникали новые группы среди подотрядов Lytoceratina и Ammonitina; но только в альбском веке, т. е. в начале новой трансгрессии, имела место резкая вспышка формообразования; о ней красноречиво

говорит высокий пик на нашей схеме (см. рис. 1). Затем наступила полостнового, еще более значительного упадка. Уже среди триасовых и юрски аммоноидей временами развивались формы с непормальной раковиной, н там это было явлением редким; в меловом периоде количество подобных форм резко возросло (Pictetia, Baculites, Turrilites, Nipponites и мн. др.). Развитие по этому пути было приспособлением, с одной стороны, к пелагическом пассивно плавающему образу жизни, а с другой — к обитанию на дне моря В верхнемеловую эпоху, кроме того, появились аммоноидеи с цератитово лепастной линией (Engonoceratidae, Tissottiidae) или даже с гониатитово перегородкой (Flickia, Neolobites). Их развитие шло по пути большого упрещения организации и значительного возврата к прошлому.

На границе мела и палеогена произошел четвертый кризис в истории ам моноидей, имевший роковые последствия. После длительной и блестяще эволюции, преодолев ряд критических моментов, аммоноидеи прекратили свое существование. Внезапное их вымирание в конце мелового период связано, по-видимому, с быстро нараставшим развитием других групп головоногих моллюсков — декапод и октопод. Аммоноидеи, не выдержав конкуренции этих необычайно хищных и подвижных животных, сначала прошлиерез полосу заметной деградации, а затем окончательно исчезли с лиг

Земли.

Вывода. 1) Каждый отряд аммоноидей начинался немногочисленной группо примитивных форм и затем, развиваясь, достигал большого процветани и очень высокой организации. Исходная группа каждого нового отряда был несравненно примитивнее наиболее совершенных представителей филоген тически предшествовавшего отряда. Климении и меловые аммониты состатляли исключение из общего правила; вследствие давления внешних, скоре всего, биотических факторов, их эволюция шла преимущественно в сторог понижения организации. 2) Этапы процветания и моменты кризиса в развитии аммоноидей теснейшим образом связаны с большими изменениями в плеогеографической обстановке, — с трансгрессиями и регрессиями, которы стимулируя эволюцию одних групп, вели к гибели других. При отсутстви биотических барьеров захват пространства и широкая экологическая эколания происходили в условиях как трансгрессивных, так и регрессивных движений моря.

Палеонтологический институт Академии наук СССР

Поступило 20 V 1957

Доклады Академии наук СССР 1957. Том 115, № 4

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ

А. Г. ШАРОВ

СВОЕОБРАЗНЫЕ ПАЛЕОЗОЙСКИЕ БЕСКРЫЛЫЕ НАСЕКОМЫЕ НОВОГО ОТРЯДА MONURA (INSECTA, ARTERYGOTA)

(Представлено академиком И. И. Шмальгаузеном 28 V 1957)

При сборах ископаемых насекомых в Кузнецком бассейне на местонахождении Калтан (по правому берегу реки Кондомы у села Верхний Калтан Кузедеевского р-на Кемеровской обл.) экспедицией Палеонтологического института в 1949 г. был найден отпечаток брюшка членистоногого с длинной членистой нитью (рис. 3, VI), определить систематическое положение которого тогда не представлялось возможным. В 1954 и 1955 гг. К. С. Костиной было найдено на том же обнажении семь отпечатков своеобразных членистоногих, имеющих такое же строение брюшка. Однако и эти отпечатки были или фрагментарными или плохой сохранности и не давали возможности с определенностью говорить об их систематическом положении; таким же фрагментарным оказался еще один отпечаток такого же членистоногого, найденный экспедицией ПИН в 1951 г. на том же обнажении и совсем недавно обна-

руженный мною среди отпечатков насекомых incertae sedis.

В 1956 г. в продолжении 2 мес. я проводил сборы ископаемых насекомых на упомянутом обнажении и нашел 25 отпечатков таких же членистоногих, некоторые из которых оказались прекрасной сохранности. Изучение этих отпечатков привело меня к заключению, что они принадлежат представителям нового отряда первично-бескрылых насекомых, близкого к Thysanura, и что подобные же насекомые были описаны более 70 лет назад из верхнекарбоновых отложений Франции III. Броньяром как представители отряда Thysanura под именем Dasyleptus lucasi Brongniart, без указания, к какому семейству они относятся (5, 6). К сожалению, Броньяр не дал рисунка или фотографии этих насекомых. Три отпечатка D. lucasi были позже переданы А. Гандлиршу и их чрезвычайно схематическое изображение приведено в его широко известной монографии (8). По определению Гандлирша, два из них принадлежат паукообразным (из отряда Thelyphonida), а третий имеет большое сходство с примитивными ископаемыми ракообразными, но из-за плохой сохранности более точно не определим. Таким образом, D. lucasi был отнесен Гандлиршем к группе форм, ошибочно принимаемых за насекомых. Благодаря авторитету Гандлирша в области палеоэнтомологии этот взгляд никем не подвергался сомнению и прочно вошел в палеонтологическую и энтомологическую литературу.

Судя по описанию Броньяра и рисункам Гандлирша, имевшиеся в их распоряжении отпечатки были, по-видимому, все плохой сохранности, так как Броньяр отмечает, что трудно различить число члеников антенн, пальп и конечностей, но тем не менее по таким основным признакам, как размеры и форма тела, число сегментов и их величина, наличие коротких частых волосков, покрывающих тело, присутствие длинной абдоминальной нити и отсутствие других придатков на конце брюшка, можно с уверенностью заключить, что описываемые здесь членистоногие относятся к тому же отряду, семейству и даже роду, что и D. Iucasi. Вместе с тем, не возникает никаких сомнений в том, что эти членистоногие являются первичнобескры-

лыми насекомыми.

Подкласс APTERYGOTA

Отряд MONURA SHAROV, ordo nov.

Диагноз. Голова гипогнатная (рис. 1), соединенная с туловищем шипроким основанием, по-видимому малоподвижная. Глаза хорошо развитыт многофасеточные. Роговые органы свободные (экзогнатный тип). Максиллярыные пальпы сильно развиты. В головной капсуле имеются рудименты тергитов мандибулярного, максиллярного и нижнегубного сегментов. Туловищи гомономно расчлененное, сверху без ясно выраженного разделения на груди брюшко, состоит из 14 сегментов и оканчивается непарной членистой ниты приблизительно такой же длины, как туловище. Церки отсутствуют Тергит 1-го туловищного сегмента уже, чем следующие за ними тергиты

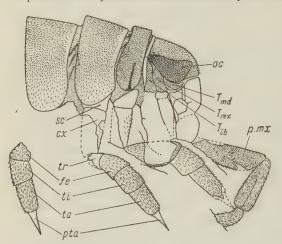


Рис. 1. Голова и передняя часть туловища Dasyleptus brongniarti sp. nov. Колл. ПИН № 1197/ 594. T_{md} , T_{mx} , T_{tb} — остатки тергитов, соответствению, мандибулярного, максиллярного и нижнегубного сегментов; oc— глаза, $p.\ mx$ — максиллярные пальпы, sc— субкокса, cx— коксальный членик, tr— вертлуг, fe— бедро, ti— голень, ta— лапка, pta— претарз

Тергит 14-го туловищног сегмента приблизительно та кой же длины, как и 1-го сег мента. На спинной сторони вдоль всех тергитов туловищ! проходит шов, разделяющи: их на правую и левую полс вины. Боковые края тергито образуют лопасти, свешиваю щиеся вниз. Три первых туло, вищных сегмента несут конеч ности, состоящие из сравния тельно крупного коксальног членика, небольшого вертлу приблизительно равны размеров бедра, голени и од ночлениковой лапки и един ственного крупного конусс видного претарза. Остальны туловищные сегменты, по-видимому за исключением дву последних, несут грифелькы У самок имеется яйцеклал. образованный придаткам: 11-го и 12-го туловищны сегментов.

С р а в н е н и е. По таким основным признакам, как сегментный состатела, экзогнатный тип ротового аппарата, сильно развитые максиллярный пальпы, многофасеточные сложные глаза, наличие яйцеклада, образованног придатками 11-го и 12-го туловищных сегментов, и наличие длинной хвосто вой нити, отряд Мопшга наиболее близок к отряду Thysanura. Сходство имеется также и в присутствии у некоторых Thysanura рудимента тергита максиллярного сегмента, обычно рассматриваемого как гипостома (7), а также наличии у личинки I возраста Lepisma saccharinum L. тергита нижнегубного сегмента (4). От Thysanura отряд Мопшга отличается нерасчлененной лапкого сединственным крупным претарзом (у Thysanura лапка трехчлениковати имеет три коготка — собственно претарз и два латеральных), отсутствие церок, наличием рудимента тергита мандибулярного сегмента и небольши тергитом 1-го туловищного сегмента.

Ряд особенностей, общих для Thysanura и Monura, у последних оказываются более примитивными. Рудименты тергитов максиллярного и нижногубного сегмента у Monura более развиты, чем у взрослых Thysanura, более развиты и максиллярные пальпы, по-видимому выполнявшие у Monura кроме тактильной, также и функцию опоры для головы. Расчленение ног более гомономное, приближающееся к таковому у ранних возрастов Thysanura (4 с Свободные тергиты, не налегающие на стерниты (коксостерниты) брюшка торб

у современных Тhysanura не встречаются и известны только для триасового емейства Triassomachilidae (3), но у последних тело более уплощено дорсозентрально, чем у Monura. 14-й туловищный сегмент Monura более развит, нем у Thysanura; у последних он редуцирован и слит с хвостовой нитью 9, 16). Обособленность 14-го туловищного сегмента у Мопига от хвостовой нити позволяет рассматривать последнюю не как производную 14-го туловищного сегмента, а как самостоятельный отдел тела, хотя природа этого отдела по-прежнему остается неясной: среди Atelocerata такой отдел тела: встречается только у насекомых. Густой покров из волосков — гомологов: нешуек Thysanura — также представляет собой примитивную особенность.

Некоторые особенности строения Мопига встречаются среди низших предтавителей Atelocerata: небольшой 1-й туловищный сегмент с узким тергитом имеется у Chilopoda, Pauropoda, Symphyla, Protura, Collembola и Dipluга: нерасчлененная лапка с простым конусовидным претарзом свойственна

почти всем «Myriopoda», за исключением Scutigeridae.

Броньяр (5, 6) рассматривал Dasyleptus как предка современных Thysanura. С этим можно было бы согласиться, если бы у Monura были какиелибо придатки, гомологичные церкам; их полное отсутствие заставляет рассматривать Monura как боковую и еще весьма примитивную ветвь

палеозойских тизанурообразных Apterygota.

По крупным тактильно-опорным максиллярным пальпам можно предполагать, что Мопига жили на суше, но по-видимому вблизи водоемов, о чем свидетельствует их частая встречаемость в отложениях (у Броньяра было около 50 отпечатков, в моем распоряжении—34 отпечатка из общего исла около 2500 отпечатков, собранных на местонахождении Калтан). Гипогнатное строение головы свидетельствует о том, что Monura не были хищшиками, а питались, по-видимому, растительной пищей или гниющими органическими остатками. При передвижении эти насекомые опирались на прегарз — способ, характерный для «многоножек», Protura, Collembola и Diplura, а среди Thysanura — лишь для личинок I—III возрастов (³).

Распространение и возраст — стефанский ярус верхнего карбона Франции (Комментри), нижняя пермь юго-западной Сибири

(Калтан).

Состав отряда — 1 семейство, 1 род с 2 видами.

Cem. DASYLEPTIDE SHAROV, FAM NOV.

Диагноз. Антенны короткие, малочлениковые, с двумя большими основными члениками. Чйцеклад короткий, его конец находится на уровне заднего края тергита 13-го туловищного сегмента. Тергит 13-го сегмента больше тергита 12-го сегмента.

Род Dasyleptus Brongniart, 1885

Тип рода — Dasyleptus lucasi Brongniart, 1885.

Диагноз. Глаза полулунные, с выпуклым нижним и прямым или слегка вогнутым верхним краем. Тергит 1-го туловищного сегмента в два раза уже тергита 2-го сегмента и имеет на свешивающихся вниз боковых краях, ближе к переднему краю и параллельно ему, углубление в виде

шва. Тергит 13-го сегмента в два раза шире тергита 14-го сегмента.

Состав рода. 2 вида: D. lucasi Brgn. и D. brongniarti sp. nov. Замечания. Поскольку при описании D. l ucasi Броньяр не упоминает о таких признаках, которые можно было бы рассматривать в качестве видовых, а сравнить отпечатки D.1 ucasi с экземплярами, собранными в Калтане, в настоящее время не имею возможности, я описываю последних как представителей нового вида, хотя вполне вероятно, что этот вид впоследтвии окажется синонимом D. lucasi Brgn.

Распространение и возраст. Те же, что и для отряда.

Dasyleptus brongniarti Sharov, sp. nov. (рис. 1—3) Голотип. Колл. ПИН № 1197/595 — прямой и обратный отпечаток

целого насекомого, за исключением конечностей (рис. 3, 1).

Д и а г н о з. Длина тела без придатков — от 3 мм (по-видимому, не половозрелые особи) до 12,1 мм; длина антенн у крупных экземпляров 2—2,1 мм; длина хвостовой нити 8—10 мм; длина трех последних члеников мака силлярных пальп равна соответственно 0,7—0,85; 1,0—1,1 и 0,9—1,1 мм. На тергите 1-го туловищного сегмента волоски веерообразно раходятся от переднего края назад, образуя завихрение (рис. 1). Голень короче лапки

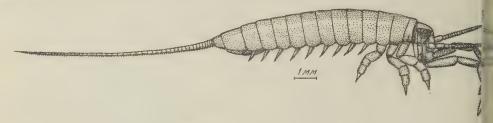


Рис. 2. Реконструкция Dasyleptus brongniarti sp. nov.

Материал. Кроме голотипа, в коллекции Палеонтологическог института имеется 33 отпечатка этого вида различной степени сохранности. №№ 504/231, 679/75, 966/14—20, 1197/585—592, 1197/594, 1197/596—610

Геологический возраст. О. М. Мартынова (2) считает сло Калтана нижнепермскими, сравнивая их, по находкам архаичных Месор tero с аналогами артинских слоев Сев. Америки; Е. Э. Беккер-Мигдисова (считает эти слои соответствующими или самым низам кунгурского яруст или самым верхам артинского яруса. Находка представителя рода Dasyler tus в этих слоях свидетельствует о наличии реликтовых форм, характерны для фауны верхнего карбона западной Европы.

Палеонтологический институт Академии наук СССР Поступило 17 V 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Е. Э. Беккер-Мигдисова, ДАН, 90, № 1 (1953). ² О. М. Мартынк ва, Тр. Палеонтологич. инст. АН СССР, 40 (1952). ³ А. Г. Шаров, ДАН, 61, № (1948); ⁴ А. Г. Шаров, Тр. Инст. морфологии животных АН СССР, 8 (1953). ⁵ СВ гоп g піагt, Bull. Soc. Ami. Sci., Nat. Rouen, 21, № 3 (1885) ⁶ Ch. Brongiart, Recherches pour servirà l'histoire des insectes fossiles des temps primaires (1897). ⁷ J. Chaudonneret, Ann. Sci. Nat., 11^e Sèr., 12, fasc. 2 (1950). ⁸ A. Haldlirsch, Die Fossilen Insekten und die Phylogenie der rezenten Formen, 1908.

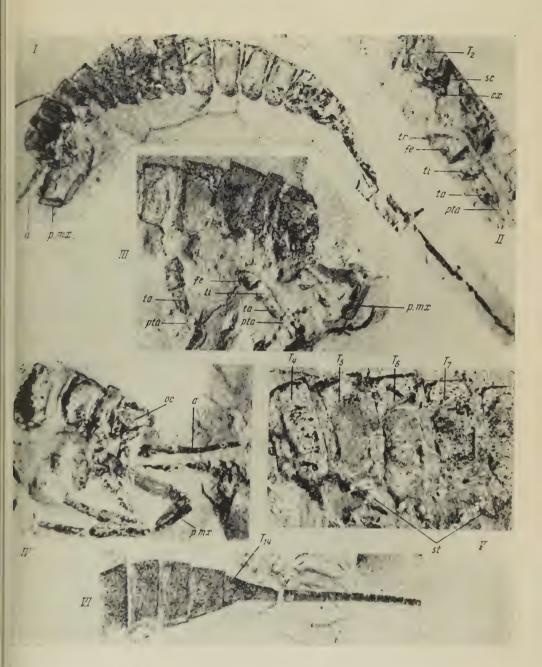
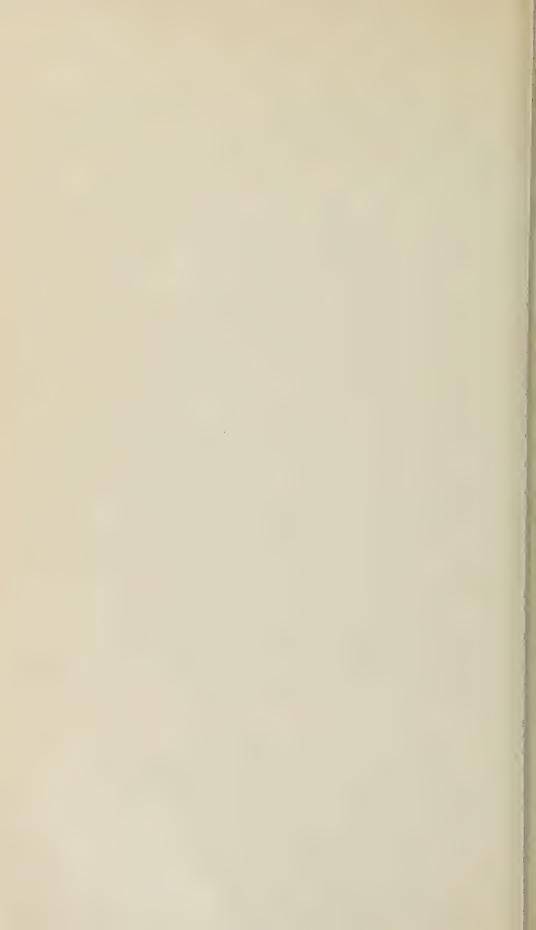


Рис. 3. Dasyleptus brongniarti sp. nov. I — общий вид отпечатка голотипа, № 1197/595, 7,5 \times , II — нога 2-го туловищного сегмента, № 1197,594, 18,4 \times ; III — голова и передний отдел туловища, № 1197/594, 13 \times ; IV — голова и передний отдел туловища, № 1197/585, 13 \times ; V — средняя часть туловища, № 1197/594, 15 \times ; VI — последние сегменты туловища и часть хвостовой ниги, № 504/231, 14 \times . a — антенны, oc — глаза, p. mx — максиллярные пальпы, sc — субкокса, cx — коксальный членик, tr — вертлуг, fe — бедро, ti — голень, ta — лапка, pta — претарз, st — грифельки, ta — ta —



ГИСТОЛОГИЯ

Л. Б. БЕРЛИН

ГИСТОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ ЗАЖИВЛЕНИИ ЗАШИТЫХ ОПЕРАЦИОННЫХ РАН У СОБАК И КОШЕК

(Представлено академиком И. И. Шмальгаузгном 10 V 1957)

Заживлению ран у собак был посвящен ряд старых работ (1-4) и некоторые новые исследования (5-6). Однако большинство исследователей занималось изучением скорости эпителизации открытых ран, заживавших без швов, и уделяло мало внимания гистологическим изменениям и взаимоотношениям тканевых компонентов кожи, хотя операционная зашитая рана, заживающая первичным натяжением, не может не иметь здесь специфики. В настоящей работе делается попытка восполнить этот пробел, а также продолжить изучение эпидермальных тканей различных позвоночных при репаративной

регенерации $(^{7-15})$.

Материалом служили кусочки кожи собак и кошек, вырезанные из области операционных ран, нанесенных с соблюдением правил асептики: под эфирным наркозом производились разрезы скальпелем всей толщи кожи у собак на вентральной поверхности шеи и внутренней стороне бедра, а у кошек — на животе; разрез длиной 8—10 см зашивался шелком; заживление — без повязки. Фиксация материала от собак — формалином или ценкер-формолом через 12 час. 1, 3, 4, 5, 6, 9, 13 и 16 суток, 1, 3, и 4 мес. после повреждения, а от кошек — формалином и по Карнуа через 2, 3, 4, и 5 суток. Кроме того были зафиксированы указанными способами кусочки нормальной кожи из тех же областей, где производилось оперативное вмешательство. Заливка в целлоидин-парафин. Серии срезов толщиной 6—10 и окрашивались гематоксилин-эозином, гематоксилин-пикрофуксином, железным гематоксилином по Гейденгайну, ализариновым синим по Петерсену и азур11-эозином. Некоторые срезы перед окраской азур11-эозином были обработаны рибонуклеазой по Браше (22) в течение одних суток.

Эпидермис собак состоит из 2—3 слоев живых клеток, местами встречающихся отдельных зернистых элементов и довольно толстого рогового слоя. Граница эпидермиса и дермы извилистая. В нежноволокнистой соединительной ткани сосочкового слоя имеются тонкие коллагенные пучки и густая сеть эластических волокон, вплетающихся в базальную мембрану. В компактном слое дермы, состоящем из толстых коллагенных пучков, образующих пространственную сеть, и небольшого количества клеток, располагаются волосы, немногочисленные сальные и клубочковые потовые железы; в сосочковом слое — мелкие, а на границе компактного и подкожной клетчатки—крупные кровеносные и небольшие лимфатические сосуды, а также нерв-

ные стволики.

Кожа живота кошки несколько тоньше, чем у собаки на бедре и шее (в основном за счет сетчатого слоя), и имеет очень небольшое количество более мелких потовых желез и крупные лимфатические сосуды; в остальном же она сходна с кожей собаки.

При указанном выше ранении кожа повреждается не только по линии самого разреза, но и во всех местах прокола иглой и проведения шелковой нити. Поэтому на многих срезах можно видеть три раны (рис. 1).

В течение первых 12—24 час. после ранения эпителий вокруг ран от иглычи вдоль линейного разреза сильно утолщается, главным образом за счет росткового слоя, цитоплазма клеток которого становится базофильной. В нем появляются митозы. Булавовидно утолщенный или клиновидный в разрезерегенерат, состоящий из элементов ростковой зоны, начинает продвигаться под струп.

Соединительная ткань сосочкового слоя гиперемирована, в сетчатом слое резко выражены отек и инфильтрация лейкоцитами. Последние вместе с другими блуждающими клетками скопляются около шелковых нитей, проникают внутрь, располагаясь между отдельными их волоконцами (рис. 1).



Рис. І. Общий вид кожи кошки в области операционной раны. 1 — операционная рана; 2 — раны от прокола иглой; 3 — участки отслаивающегося эпидермиса, под ним — эпителиальные элементы волосяных влагалищ, образующие покровный пласт. Формалин, гематоксилин — эозин. Об. 3,5, ок. $10 \times$

У кошек в первые два дня после ранения, особенно около сосудов, появлянотся тучные клетки с базофильной зернистостью. В отличие от собак, у кошек чрезвычайно сильно расширяются уже через 2 суток лимфатические сосуды, принимающие на разрезе вид больших овальных полостей, выстланных кубическим эндотелием.

В течение 1—2 суток после ранения наряду с утолщением эпидермиса и появлением пролиферативных изменений его элементов в нем наблюдаются участки дистрофические и некротические. Это касается как его частей, оказавшихся при наложении швов заключенными в раневой канал, так и обширных участков на поверхности, особенно между операционной раной и раной от прокола иглой, т. е. в зоне самого операционного шва. В таких местах эпидермис истончается, клетки его приобретают светлую окраску цитоплазмы, ядра сморщиваются, и он отслаивается (рис. 1). Его замещает на поверхности кожи эпителиальный пласт, образующийся за счет жизнеспособных элементов волосяных фолликулов. Уже в первые сутки после ранения клетки наружных волосяных влагалищ начинают делиться митозами, их цитоплазма становится базофильной, постепенно они перестают охватывать корень волоса со всех сторон, и, оказавшись на поверхности кожи, превращаются в покровный пласт (рис. 1 и 2). Корни волос при этом элиминируются наружу. Особенно постоянно этот процесс наблюдается у кошек. Вместе с элементами волосяных влагалищ клетки базального слоя сальных желез участвуют в эпителизации, что подтверждает уже имеющиеся указания $(^{17}, ^{18})$. Участия эпителия потовых желез в образовании регенерата и закрытия раны 800



Рис. 2. Кожа кошки вблизи операционной раны. Жизнеспособные эпителиальные элементы волосяных влагалищ, выходя на поверхность, становятся покровным пластом: Ценкер-формол, азур I1-эозин. Об. 8, ок. $15 \times$

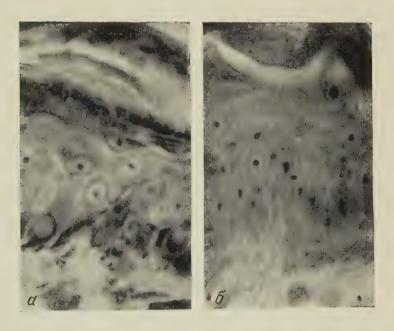
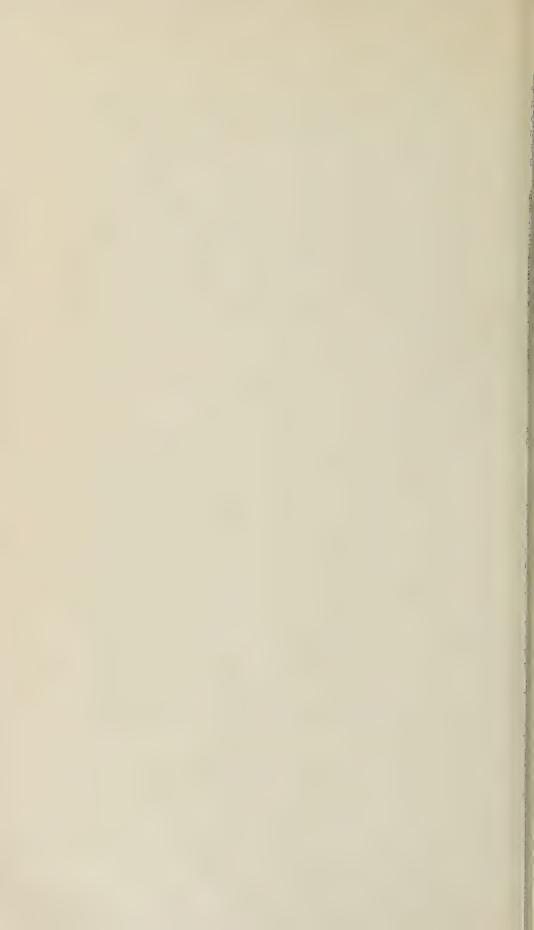


Рис. 4. Соседние участки эпителия вблизи кожной раны кошки. 4 суток. a — без обработки рибонуклеазой, δ — после обработки рибонуклеазой. Карнуа, азур II-эозин. Об. 60, ок. 10 ×



и у собак, ни у кошек установить не удается, однако отсутствующие

них в норме митозы появляются после ранения кожи.

Разрастаясь по кровяному сгустку инфильтрированной лейкоцитами режней соединительной ткани и постепенно образующейся грануляционной кани, в которой заметны делящиеся митозами молодые фибробласты, эпифермальный регенерат состоит из многих слоев клеток, связанных друг с другом длинными цитоплазматическими мостиками (рис. 3). В области бывшего грая раны он состоит из элементов всех зон эпидермиса, включая и роговую, в нарастающем участке в нем имеются лишь клетки ростковой зоны.



Рис. 3. Эпителиальный регенерат собаки, располагающийся на прежней соединительной кани своим корнем и на кровяном сгустке передней частью, которая образует погруженные разрастания. 3 суток. Ценкер-формол, гематоксилин—пикрофуксин. Об. 40, ок. 10 ×

В базальном и супрабазальных слоях у корня регенерата опи делятся мигозами, а в передовой его части делящихся клеток не встречается. Подрастая под струп, образованный как за счет отмерших слоев эпителия, так и тканевого детрита, регенерат образует многочисленные погружные (19) разрастания в фибринозный сгусток (рис. 3). В него начинают врастать молодые соединительнотканные веретенообразные клетки, в которых нередки каргины митоза, а также эндотелиальные тяжи, образущие капилляры и широкие тонкостенные сосуды, характерные для грануляционной ткани.

В тех местах раны, где расхождение краев бывало значительным, эпидермальный регенерат глубоко внедрялся в щелевидную полость, выстилая постепенно ее края (рис. 1). В других участках раны, где ее края более или менее тесно сомкнуты, эпителий имел лучшие условия роста. Разные участки раны эпителизировались в разные сроки — у кошек несколько скорее, чем у собак, однако к 9 суткам эпителизация и у последних была полной. Раны

от прокола иглой к этому времени также эпителизировались.

Окружающий рану эпидермис, сильно утолщенный до полной эпителизации, остается таким длительное время. Его ростковая зона состоит из многих слоев клеток с базофильной цитоплазмой, окрашивающейся интенсивно азуром в фиолетово-синий цвет (рис. 4a). При обработке соседних срезов рибонуклеазой и последующей окраске азур-эозином цитоплазма таких клеток перяет базофилию и окрашивается эозином в розовый цвет (рис. 46). Это подверждает данные Б. В. Кедровского (20, 21) о том, что при регенерации дитоплазме клеток накапливается рибонуклеиновая кислота. Обращает на себя внимание то, что ядрышки остаются после обработки рибонуклеазой базофильными и интенсивно красятся азуром (рис. 46). Вероятно, это зависит от того, что они содержат не только рибонуклеиновую кислоту, но дезоксирибонуклеиновую (тимонуклеиновую) кислоту.

К моменту полной эпителизации дефектов в грануляционной ткани появ ляются сначала тонкие, а затем и более грубые фуксинофильные, а затем и эластические волоконца, хорошо окрашивающиеся гематоксилином Вей герта. Лейкоциты, инфильтрировавшие прежде грануляционную ткань постепенно исчезают, фибропласты приобретают горизонтальное к поверх ности кожи расположение. Широкие кровеносные сосуды исчезают из грануляционной ткани, пучки межклеточного вещества становятся грубее. Гра нуляционная ткань превращается в бедную клетками и сосудами рубцовую ткань.

Эпителий регенерата, все еще утолщенный и состоящий почти целико из элементов ростковой зоны, образует многочисленные закругленные выступы в рубцовую ткань, напоминающие зачатки волос и желез в развивак

щейся коже.

В более поздние сроки (через 2—3 мес. после операции) место ранения мож но узнать в препаратах по более тонким коллагенным пучкам компактног слоя дермы, несколько уплощенному эпителию и более широкому, чем в ног ме, слою нежноволокнистой соединительной ткани сосочкового слоя. Волос и железы в рубце отсутствуют.

Несмотря на значительное сходство гистологических процессов призажил лении зашитых операционных ран у собак и кошек, можно выявить и некоторые отличия. Они сводятся к более ускоренной эпителизации, большей рол эпителиальных элементов волосяных влагалищ в образовании покровног пласта в зоне стяжения кожи швом, а также самого регенерата у кошек, а также особенно сильному расширению у них лимфатических сосудов, выстланых кубическим эндотелием.

Нельзя не отметить, что заживление зашитых операционных ран отличается от заживления дефектов кожи после иссечения ее участка рядом ос бенностей, зависящих от самого способа повреждения, наличия стягивающих ткань швов и многих ран от проколов иглой, расположенных по об

стороны от линейного разреза.

Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова

Поступило 5 V 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Выводцев, Военно-мед. журн., 105, 8 (1869). ² М. Невинский Арветерин. наук, 4, 2 (1874). ³ Ф. Чудновский, Материалы для изучения процед заживления кожных ран при истощении организма голоданием, кровопусканием и нагнением, Диссертация, СПб, 1890. ⁴ И. Соколовский, Материалы к вопросу о заж влении кожных ран под влиянием обескровливания, Диссертация, СПб, 1891. ⁵ Б. Аркадакский, Тр. Бурят-Монг. зооветерин. инст., 5 (1949). ⁶ Л. Г. Грано О заживлении ран в условиях высокогорья, Автореферат докторской диссертаци Сталинабад, 1949. ⁷ Н. А. Шевченко, Арх. анат., гистол. и эмбриол., 2, 6 (194 ⁸ Н. А. Шевченко, ДАН, 66, № 6 (1949). ⁹ А. А. Браун, ДАН, 60, № 7 (194 ¹⁰ Л. Б. Берлин, ДАН, 80, № 2 (1951). ¹¹ Л. Б. Берлин, ДАН, 86, № (1952). ¹² Л. Б. Берлин, ДАН, 100, № 2 (1955). ¹³ Н. Н. Аничков, К. Волкова, В. Г. Гаршин, Морфология заживления ран, 1951. ¹⁴ Н. Г. Хллпин, Н. А. Шевченко, Л. Б. Берлин, Бюлл. экспер. биол. и мед., 2 (195 ¹⁵ А. Ж. Блюмберг, Бюлл. экспер. биол. и мед., 6 (1956). ¹⁶ Н. Г. Хлопи Общебиологические и экспериментальные основы гистологии, 1946. ¹⁷ В. Г. Вайштейн, Пластика травматических дефектов кожи, 1946. ¹⁸ В. Ф. Цель, Арх. анагистол. и эмбриол., 32, 1 (1955). ¹⁹ В. Г. Гаршин, Воспалительные разрастания эт телия, их биологическое значение и отношение к проблеме рака, 1939. ²⁰ Б. В. Кедро ский, Усп. совр. биол., 31, 1 (1951). ²¹ Е. В. Кедро вский, Усп. совр. био 32, 3 (1951). ²² Ж. Браше, Усп. совр. биол., 29, 1 (1950).

ГИСТОЛОГИЯ

И. Б. СОЛДАТОВ

СОСТОЯНИЕ НЕРВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛИМФАДЕНОИДНОЙ ТКАНИ ПРИ ОСТРОЙ ЛУЧЕВОЙ БОЛЕЗНИ

(Представлено академиком Н. Н. Аничковым 16 V 1957)

Дапные ряда исследований последнего времени все больше и больше опровергают долго господствовавшее представление о чрезвычайно низкой радиочувствительности нервной системы. При лучевых воздействиях удалось обнаружить не только функциональные, но и структурные изменения как в центральной, так и в периферической нервной системе (1, 2, 7-10, 13). Сделаны интересные наблюдения о влиянии иопизирующей радиации на структуру нервного аппарата сердца и некоторых других внутренних органов (4-6, 11, 12). Вопрос же о состоянии нервных элементов в лимфаденоидной ткани, особенно рано реагирующей на воздействие проникающих излучений, пока еще остается неисследованным.

В настоящем сообщении приводятся результаты изучения состояния нервных элементов в лимфаденоидной ткани при экспериментальной острой лучевой болезни. 20 взрослых кошек были подвергнуты внешнему общему однократному рентгеновскому облучению в дозе 700 г. Данная доза вызывала у всех кошек тяжелую форму острой лучевой болезни. Наблюдения над животными показали, что реакция их на облучения была примерно однотипной.

В первые дни после облучения копики становились вялыми, теряли аппетит, переставали ухаживать за собой. В дальнейшем у большинства кошек отмечались поносы и слюнотечение, выпадение шерсти; животные отказывались от пищи и зпачительно теряли в весе. Повторные анализы крови свидетельствовали о прогрессирующем падении количества лейкоцитов. Спустя 10—18 суток после облучения в периоде выраженных клинических явлений лучевой болезни животные погибали или были убиты. Взятие и фиксирование материала производилось сразу же после смерти животных.

Общегистологическому, исследованию (окраска гематоксилин-эозином) во всех случах подвергались небные миндалины, брыжеечные лимфатические узлы и селезенка. Основным объектом нейрогистологического исследования служили небные миндалины (они обрабатывались методами Бильшовского — Грос, Марки и Ниссля). У трех кошек, погибших через 12, 13 и 16 суток после облучения, попутно по Бильшовскому — Грос были обработаны селезенка и брыжеечные лимфатические узлы.

Микроскопическое изучение лимфаденоидной ткани исследованных объектов обнаруживало дистрофические-некротические изменения, характер-

ные для острой лучевой болезни.

При изучении нервного аппарата миндалин, брыжеечных лимфатических узлов и селезенки во всех случаях наряду с нервными элементами нормального строения были найдены и патологически измененные нервные элементы. При этом особенно значительное количество измененных нервных элементов выявлено в миндалинах животных, погибших через 10—14 суток после облучения. Говоря о характере патологических изменений нервных элементов, следует прежде всего указать, что особенно часто изменения нервных волокоп и их пучков выражались в обратимых реактивных явлениях,

типичных для ранней стадии дегенеративного процесса — периаксональ в ного сегментарного поражения: увеличение количества эльцгольцевых теле: в нервных пучках, грубая импрегнация, резкая извилистость, варикозности и истончения нервных волокон (рис. 1 и 2). Иногда удавалось наблюдать от хождение от чрезмерно импрегнированных аксонов новообразованных бо ковых ветвей, которые заканчивались пуговчатыми или треугольными утолищениями. Весьма сходные «боковые побеги» описал при экспериментального неврите Б. С. Дойников (3), который расценивает данные выросты как упровиенные аппараты Перрончито и предполагает, что они явлляются проявлением особого состояния раздражения осевых цилиндров.

Изменения многих нервных волокон, обнаруженных в различных отдетлах миндалин, селезенки и брыжеечных лимфатических узлов, не ограничивались приведенными реактивными поражениями. Имело место и нарушение непрерывности осевых цилиндров — частые разрывы их и фрагментация, характерные для валлеровского перерождения (рис. 3 и 4). Следует заметить, что в миндалинах тяжелым деструктивным изменениям подверкались преимущественно отдельные волокна, расположенные в лимфоидног ткани (особенно вблизи участков некроза). Волокна же, проходящие в крупных нервных пучках, расположенных в соединительной ткани наружных отделов миндалин, обычно оказывались более устойчивыми, хотя и здесты

иногда имело место валлеровское перерождение.

В исследованных миндалинах были найдены рецепторные окончания типа арборизаций. Нередко они имели нормальное строение. Часть же рецепаторов обнаруживала патологические изменения лишь в претерминальных отделах, причем изменения эти чаще можно было квалифицировать како обратимые (грубая импрегнация, неровная поверхность, значительная из вилистость рецепторных волокон, резкие вздутия по ходу некоторых терминалей). Некоторые рецепторы имели признаки тяжелых дегенеративных изменений (разрывы и распад чрезмерно импрегнированных рецепторных

волокон и их терминалей).

В нервных узелках, постоянно встречающихся в соединительной ткани наружных отделов миндалин, среди нервных клеток нормальной структуры обнаруживаются и клетки с поражениями опять-таки различной тятжести. Большая часть измененных нервных клеток обычно была поражена в сравнительно легкой степени — отмечались нечеткость контуров клеток, перераспределение хроматофильного вещества, иногда гиперхроматоз ядер, часть нервных клеток обнаруживала более тяжелые изменения (резкий гиперхроматоз ядер, набухание или сморщивание тел клеток, появление участков расплавления хроматофильного вещества и вакуолизация протоплазмы). Очень резкие патологические изменения нервноклеточного аппарата встречаются довольно редко. Тем не менее в некоторых узелках удавалось обнаружить отдельные нервные клетки, находившиеся в состоянии распада. Иногда распаду подвергались и ветви интерцеллюлярного сплетения.

Таким образом, при острой лучевой болезни нервный аппарат миндалин, брыжеечных лимфатических узлов и селезенки закономерно обнаруживает структурные изменения различной тяжести. Эти изменения необходимо учитывать в клинике. Обусловливая патологическую импульсацию с периферии в центр, они могут способствовать извращению ряда рефлексов.

Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова

Поступило 14 V 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Л. А. Африканова, Тр. Всесоюзн. конфер. патологоанатомов, июль 1954, Л., 1956, стр. 332—337. ² А. Г. Бегларян, К. А. Кяндарян, С. А. Папоян, ДАН, 112, № 3, 422 (1957). ³ Б. С. Дойников, Гистологические и гистопатологические исследования над периферическими нервами, Диссертация, Петроград, 1922; Избр. 804

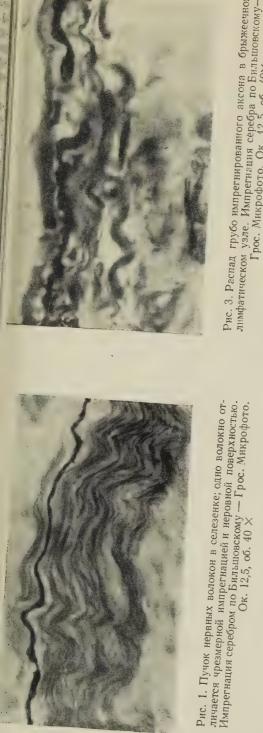


Рис. З. Распад грубо импретнированного аксона в брыжеечном лимфатическом уэле. Импрегнация серебра по Бильшовскому— Грос. Микрофото. Ок. 12,5, об. 40×



гающего к дольке слизистой железы небной миндалины. Импре-Рис. 2. Резкие вздутия и истончения нервного волокна, приле-

Рис. 4. Валлеровское перерождение аксионов на стенке крове-





гр. по нейроморфологии и невропатологии, 1955, стр. 114—208. ⁴ Н. А. Кузьмина, Тез. докл. 2 съезда онкологов и 3 съезда рентгенологов и радиологов УССР, Киев, 1956, стр. 170—172. ⁵ В. В. Куприянов, ДАН, 106, № 5, 921 (1956). ⁶ В. В. Куприянов, Тр. Воен.-морск. мед. акад., 54, 45 (1956). ⁷ В. Н. Мурат, М.И. Гольдштейн, Тез. докл. 2 съезда онкологов и 3 съезда рентгенологов и радиологов УССР, Киев, 1956, стр. 141—142. ⁸ Т. Н. Олейникова, Врачебн. дело, № 2, 127 (1956). ⁹ В. В. Португалов, Тр. Всесоюзн. конфер. патологоанатомов, июль 1954, Л., 1956, стр. 328—332. ¹⁰ В. В. Португалов, Вкн. Н. А. Краевский, Очерки патологической анатомии лучевой болезни, 1957, стр. 112—146 ¹¹ Д. С. Саркисов, Тр. Военноморск. мед. акад., 54, 5 (1956). ¹² А. К. Смирнова-Замкова, А. В. Мельичен нко, Т. Н. Олейникова, Тез. докл. 2 съезда онкологов и 3 съезда рентгенологов и радиологов УССР, Киев, 1956, стр. 139—140. ¹³ С. М. Шершевер, Тез. докл. 8 научно-практич. конфер. воен. врачей Уральск.воен. округа, Свердловск, 1955, стр. 30—32.

ГЕНЕТИКА

С. И. АЛИХАНЯН и Ф. С. КЛЕПИКОВА

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ Х-ЛУЧЕЙ НА ИЗМЕНЧИВОСТЬ ACTINOMYCES SUBTROPICUS (ПРОДУЦЕНТ АЛЬБОМИЦИНА)

(Представлено академиком В. А. Энгельгардтом 10 IV 1957)

Использование ионизирующих и ультрафиолетовых лучей и химических факторов в селекции дает наиболее эффективный результат у продущентов антибиотиков. Хорошо известны превосходные штаммы — продущенты пенициллина — как зарубежные из серии Q-176 (Висконсинских университет США) (¹), так и отечественный «Новый гибрид» (²), при выведении которых использовались радио-генетические факторы. Применяемы в настоящее время при производстве стрептомицина (³), ауреомицина (4)

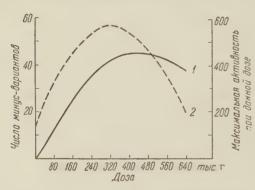


Рис. 1. Зависимость частоты морфологических мутаций (1) и выживаемости (2)

террамицина (⁵) и других антибистиков штаммы также являютс продуктами радиоселекции.

Вместе с тем работ, освещак щих теоретические основы радио селекции микроорганизмов, очен мало.

С целью применения Х-луче в селекции продуцента альбоми цина (6) нами был использован Actinomyces штамм subtropicu № 39. полученный при воздей: ствии ультрафиолетовыми лучами на отобранный естественный вари производственного штамма 614-К, не выделяющий так назы ваемого II-фактора (⁷) (штамы

614-К был получен от проф. Г. Ф. Гаузе).

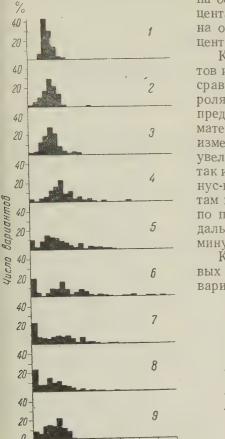
Источником X-лучей служила близкофокусная трубка Института био физики АН СССР. Облучение производилось при 90 кв и 4,5 ма. Суспензия спор, тщательно отфильтрованная для полной ликвидации комков и обрыва ков мицелия, обрабатывалась различными дозами X-лучей от 20 тыс. до 640 тыс. г. Часть той же суспензии не подвергалась облучению и служила контролем. Контрольная и облученные суспензии рассевались на пот верхности агаризованной среды в чашках Петри. У выросшей популяции колоний изучалась изменчивость по морфологическим признакам и по при знаку образования антибиотика. Наследование морфологических изменений проверялось при пересеве в пробирки со скошенным агаром. Изменчивости по признаку антибиотикообразования изучалась при глубинной ферментации около 2000 односпоровых вариантов с последующим титрованием методом диффузии антибиотика в агар. Отбор более активных вариантов проводил ся по методу, ранее описанному (8).

Как видно из рис. 1, гибель спор находится в линейной зависимости от дозы облучения. Частота морфологических мутаций при малых дозах повышается с увеличением дозы, достигая максимума при 400—500 тыс. г, г

при дальнейшем повышении дозы начинает падать.

Результаты, полученные нами на Actinomyces subtropicus, совпадают данными Ньюкомба и Мак Грегора в работе со Streptomyces штамм T-12 (9).

Основной задачей, стоявшей перед нами, было изучение характера индуцированной X-лучами изменчивости по признаку образования антибиотика, так как этот вопрос в литературе не освещен. Результаты изменчивости признака представлены в виде серии графиков распределения, где



120 200 280 360 440 520 600 %

Активность

Рис. 2

на оси абсцисс отложены активности в процентах к активности исходного контроля, на оси ординат — частота вариантов в процентах.

Как видно из рис. 2, активность вариантов из рассева необлученной суспензии по сравнению с активностью исходного контроля колеблется в относительно нешироких пределах: от 40 до 160%. В облученном материале по мере увеличения дозы размах изменчивости увеличивается как в сторону увеличения активности (плюс-варианты), так и в сторону уменьшения активности (минус-варианты), достигая по минус-вариантам максимума при дозе 480—560 тыс. г, по плюс-вариантам — при 320 тыс г. При дальнейшем повышении дозы частота как минус-, так и плюс-вариантов уменьшается.

Как показывает рис. 2, характер кривых распределения по плюс- и минусвариантам различен. Это объясняется тем,

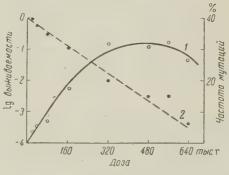


Рис. 3

Рис. 2. Графики распределения вариантов по признаку образования антибиотика при различных дозах облучения: 1 — контроль, 2 — 20 тыс. r, 3 — 40 тыс. r, 4 — 80 тыс. r, 5 — 100 тыс. r, 6 — 320 тыс. r, 7 — 480 тыс. r, 8 — 560 тыс. r, 9 — 640 тыс. r

Рис. 3. Накопление минус-вариантов (1) активности и минус-вариантов (2) зависимости от дозы облучения

что в отрицательную сторону изменчивость ограничивается нулевой активностью и нарастание минус-вариантов приводит к повышению крайнего «столбика», а повышение активности может колебаться в широких пределах, хотя число вариантов с высокой активностью невелико.

Если представить графически изменчивость по накоплению минусвариантов и по максимальным активностям плюс-вариантов в зависимости от дозы, то получается следующая картина (рис. 3): кривая по максимальным активностям плюс-вариантов достигает пика при дозе 320 тыс. г и далее, по мере увеличения дозы, падает, доходя при дозе 640 тыс. г до уровня

контроля. По накоплению минус-вариантов получены аналогичные результаты.

Изученный нами материал по индуцированной изменчивости дает во

можность сделать следующие выводы.

1. Наблюдается одинаковый характер зависимости от дозы как для мојфологических признаков, так и для биохимического признака — образна вания антибиотика.

2. Возникновение минус-вариантов под действием Х-лучей происходы

очень интенсивно, тогда как плюс-варианты возникают редко.

3. Неправильная дозировка X-лучей при селекции может привест к отрицательным результатам как в случае использования малых до

Таблица 1 Сравнительная активность различных штаммов

Средняя активность, един.	Число повторностей	Превышение активности по сравнению с "уф." вариантом птамма № 39, %	Превышение активности по отношению к исходному штамму 614, %
8575 5836 1732	29 30 16	+46	+494
7325 5836 1732	28 30 16	+25	+423
11875 5551 1864	28 30 13	+213	+637
	8575 5836 1732 7325 5836 1732 11875 5551	В 575 29 5836 30 1732 16 7325 28 5836 30 1732 16 11875 28 5551 30	11875 28 125 12

(в нашем случае порядых 20—60 тыс. г), так и в случае больших доз (порядых 480 тыс. г и выше).

Неправильное использование X-лучей в селении может создать впечать ление об их неэффектий ности.

Параллельно с изуч нием индуцированной и менчивости по признак антибиотикообразовани проводился отбор более ат тивных вариантов. Как уж указывалось, при воздей ствии на естественный в риант исходного штамм 614-К ультрафиолетовым лучами был отобран ва риант № 39, который бы в свою очередь подвергну воздействию Х-лучей. Сре ди 2000 так называемы «рентгеновских» вариантся

было отобрано три более активных варианта: №№ 444, 448 и 738. Срап

нительная активность всех этих штаммов приводится в табл. 1.

Необходимо отметить, что при воздействии ультрафиолетовыми и X-лучами способность исходного штамма не выделять II фактор полностью со храняется.

Таким образом изучена индуцированная изменчивость по количествет ному признаку — активности. Показано, что частота возникновения миную вариантов превосходит частоту возникновения плюс-вариантов, однак частота последних вполне достаточна для успешной селекции при повышени активности штамма.

Всесоюзный научно-исследовательский институт антибиотиков

Поступило 5 IV 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. Р. Васкиs, I. F. Stauffer, Mycologia, 47, 4, 429 (1955). С. И. Алуханян, Л. Н. Борисова, Ф. С. Клепикова, С. З. Миндлин, Антибин тики, № 3 (1956). ³ Е. L. Dulaney, Mycologia, 45, 4 (1953). ⁴ В. М. Duggar al., Ann. N. Y. Acad. Sci., 51, 163 (1949). ⁵ D. Borenstajn, I. Wolf, Ann. Ins Pasteur, Suppl. Desembre, 91 (1956). ⁶ Г. Ф. Гаузе, М. Г. Бражникова, Новсти медицины, в. 23 (1951). ⁷ Г. Ф. Гаузе, Г. В. Кочеткова, ДАН, 10 № 6 (1956). ⁸ С. И. Алиханян, С. Ю. Гольдат, Ф. С. Клепикова, С. Миндлин, Антибиотики, № 1 (1957). ⁹ Н. В. Newcombe, I. F. М Gregor, Genetics, 39, 5, 619 (1954).

ЭКОЛОГИЯ

А. А. ПЕРЕДЕЛЬСКИЙ, Н. А. ПОРЯДКОВА, Л. З. РОДИОНОВА и С. В. ТАРЧЕВСКАЯ

РОЛЬ ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ В ОЧИСТКЕ ПОЧВЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ РАДИОАКТИВНЫМИ ИЗОТОПАМИ

(Представлено академиком Л. С. Штерн 14 V 1957)

Как хорошо теперь известно, после взрывов атомных и водородных бомб, а также в результате работы ядерных реакторов и от многих других причин происходит на широких пространствах загрязнение атмосферы, атмосферных осадков, вод и почв радиоактивными изотопами различных элементов. Некоторые из них, имея длительный период полураспада, представляют собой при местных скоплениях особую опасность для людей,

животных и растений.

Прочность местных скоплений загрязнений радиоактивными изотопами обычно приписывается в литературе высоким сорбционным свойствам почв, а также донных илов и грунтов в водоемах. Действительно, подобные среды способны довольно прочно сорбировать многие вещества, в том числе и содержащие в своем составе радиоактивные изотопы. Так, по неопубликованным данным А. А. Титляновой, любезно ею нам сообщенным, десорбция хлористого кобальта-60 в почвенных колонках не достигала при промывании их ста объемами воды одного процента от сорбированного количества. Из сводки Ю. А. Полякова (1) известно, что выпавшие с радиоактивным пеплом или с атмосферными осадками изотопы проникают в почву на незначительную глубину. Создается впечатление о малых геохимических возможностях в природе для рассеивания радиоактивных изотопов, загрязнивших почвы или грунты водоемов.

Однако с радиоэкологических позиций, обоснованных А. А. Передельским (2), предложившим гипотезу биоэкологической самоочистки участков природы, загрязненных радиоактивными веществами, процесс рассеивания последних можно представить себе значительно ускоренным вследствие способности организмов накапливать изотопы в своем теле, передавать их друг другу при питании и выносить их из мест загрязнений при локаль-

ном передвижении и далеких миграциях.

В развитие этой гипотезы и для ее проверки радиоэкологическая экспедиция Института биофизики АН СССР совместно с сотрудниками лаборатории биофизики Уральского филиала АН СССР провела летом 1956 г. соответствующие эксперименты, некоторые результаты которых сообща-

ются в настоящей статье.

Методика опытов. Два деревянных ящика (А и Б) длиной в 160 см, шириной 80 см и глубиной 50 см почти доверху были наполнены смесью огородной земли (85%) с песком (15%). На расстоянии 10 см от од ной из коротких стенок и параллельно ей в обоих ящиках было выкопано потраншее шириной в 8 см. Вынутая из траншеи земля (10 л) тщательно перемешивалась с водным раствором Co⁶⁰Cl₂, содержавшим 10 мСи активности. Эта загрязненная теперь радиоактивным кобальтом земля засыпалась обратно в траншею соответствующего ящика. Тотчас в ящике А в землю между короткой стенкой ящика и земляным барьером, загрязненным Co⁶⁰, было

на глубину до 15—17 см зарыто 25 живых крупных дождевых червей, толго ко что взятых из природы. Вслед за тем в каждый из ящиков высевалас равномерно по всей площади земли следующая смесь семян: ячмень (16 г) овес (15 г), просо (2 г), пырей (2 г), райграсс (2 г), тимофеевка (1,5 г), горо (15 г), клевер (1,2 г), люцерна (1,8 г), вика (12 г), чина (12 г), чечевица (10 г) горчица (1,5 г), гречиха (6 г), лён (2,2 г), конопля (10 г).

Опыт был начат 14 VII. Впоследствии в ящик A было подсажено (в то жместо, как и ранее) 24 червя — 8 VIII и 49 червей — 10 VIII. Таким образом, в ящик A, в объем земли, заключенной между короткой стенкой ящикли

и землей, загрязненной Co60, было всего посажено 98 червей.

Важно отметить, что при обеих последующих посадках червей здестве обнаруживалось червей предыдущих посадок. По окончании же опыта — 29 VIII тут было найдено 17 червей, в объеме радиоактивно загрязненном земли — 4 червя, во всем остальном объеме земли — 17 червей. Отсюдятьно, что черви с места их первоначальной посадки распространялись п всему объему земли в ящике, причем вынуждены были пробиваться сквоз объем ее, загрязненный Собо. Однако большей части посаженных червей — 60 экземпляров — мы не досчитались. Большинство их, вероятно, такж пробивалось тем же путем, но затем покидало ящик через борт и щели стенок ящика. Меньшая их часть могла уйти из ящика непосредственно и зоны подсадки. Уход червей через щели дна вряд ли был возможен, так как последнее было присыпано слоем чистого песка в несколько сантиметров

Во все время опыта оба ящика стояли рядом на земле под открытым не бом. Земля в них увлажнялась дождями, а по мере иссушения — поли.

валась.

Через 24 и 44 дня после начала опыта в определенных точках обои: ящиков извлекались из земли отдельные растения, сортировались по видам, корни их отмывались от частиц земли, отрезались от надземной части растений, после чего корни и надземные части по отдельности взвеши вались, высушивались до постоянного веса и озолялись в муфельной печи В золе измерялось на счетчике типа Б содержание радиоактивности. Соот ветствующие цифры в табл. 1 показывают надфоновое число импульсог в 1 мин. на 1 г сухого веса. В эти же сроки и там же были взяты на опредделение радиоактивности и образцы почв, но материалы еще не достаточногобработаны и здесь не сообщаются.

Результаты. В табл. 1 представлены некоторые материалы наших опытов. Мы не имеем возможности производить здесь их детальный анализино на ряде моментов считаем целесообразным остановиться. Прежде всегом нельзя не отметить, что среди исследованных растений, произраставших на месте внесения Собо, горчица в процессе своего роста и развития аккумулировала наименьшее его количество. Мы замечаем также, что в присутуствии в почве дождевых червей накопление кобальта растениями горчицы повышается в пять раз. Накопление кобальта другими растениями всегдаты было значительнее, чем у горчицы. Но в присутствии червей накопление этими растениями кобальта повышалось не в пять, а в меньшее число разза

Весьма отчетливо выделяется огромная способность накопления кобальта в корневой системе злаков при незначительном накоплении его в надземных частях растений. Подобные факты не лишены практического интереса, поскольку возможность радиоактивной зараженности в надземной части урожая ведущих сельскохозяйственных злаковых культур не слишком.

выражена.

Остановимся также на соответствующих сравнениях активности 1 г сухого вещества растений спустя 24 и 44 дня после начала опытов. В боль-к шинстве случаев наблюдается уменьшение активности после 44-дневного развития растений по сравнению с их активностью в 24-дневном возрасте. Однако имеющиеся случаи повышения активности через 44 дня при отсутствии в почве червей слабо выражены и у корней и у надземных частей растений. Зато при наличии червей повышение активности у растений встре-ц

Сравнение радиоактивности у различных растений, произраставших на загрязненной Со⁶⁰ почве в присутствии и в отсутствие дождевых червей (число импульсов 1 в мин. на 1 г сухого веса)

CH -												
D		Через	з 24 дня	после ві Со ⁶⁰	Через 44 дня после внесения Со ⁶⁰							
Вид растения	Часть растения		есте сения		см от внесения		есте	в 20 см от места внесения				
		б. ч. *	с ч.	б. ч.	сч.	б. ч.	С ч.	б. ч.	С ч.			
Злаки	Надземная масса Корни	274 5000	·310 5620	17	24 66	70 2030	990 3400	0	12 54			
	Bcero:	5274	5930	17	90	2100	4390		66			
Бобовые	Надземная масса Корни	670 1100	1840 2900	0	0 0	17 0 900	820 2580	14 0	11 50			
	Bcero:	1770	4740		0	1070	3400	14	61			
Горчица	Надземная масса Корни	190 245	812 1280	0	13 0	200 336	1010 1880	0	52 172			
	Bcero:	435	2092	0	13	536	2890		224			
Конопля	Надземная масса Корни	960 2480	1450 —	0 0	9	545 1620	3880 5400	4 90	0			
	Bcero:	3440		0	9	2165	9280	94	0			
Гречиха	Надземная масса Корни	1860 800	2980 3160	0 0	0 0	7 65 640	925 4970	0 114	0			
	Bcero:	2660	6140	0	0	1405	5895	114				

^{*} Б. ч. — без червей, с ч. — с червями.

чалось чаще и, кроме горчицы, заметно в надземных частях злаков и конопли.

Было бы преждевременно искать здесь исчерпывающих разъяснений, но дело заключается, вероятно, главным образом в том, что с возрастом накапливание кобальта у большинства растений происходит менее интенсивно по сравнению с нарастанием их биомассы. Отсюда — на 1 г сухого вещества растений приходится с возрастом меньшее количество кобальта. Само же уменьшение интенсивности накапливания кобальта с возрастом проявляется, вероятно, не столько с физиологической стороны, сколько зависит от уменьшения концентрации кобальта в почве благодаря извлечению его растениями в первые недели развития растений. На эту мысль наводит увеличение числа случаев повышения содержания кобальта в растениях в присутствии подвижных червей, рыхлящих почву и перемещающих в зоне корневых систем частицы почвы и капролиты червей, в

которых мог оказаться кобальт и которые обычно привлекают к себе эле-и

менты корневой системы растенний.

В соответствующих графах таблицы мы можем различить тенденцик к повышению радиоактивности у растений, произраставших в присутствин червей на расстоянии 20 см от места внесения в почву радиоактивного корбальта. Очевидно, черви действительно могут рассеивать, растаскиватны радиоактивный кобальт, заглатывая в процессе своего продвижения в почве частицы загрязненной земли и выделяя их из анального отверстия за пределами первоначального загрязнения и, следовательно, заражая радион активностью новые объемы земли. Отсюда другие черви, насекомые и иныше организмы могуть рассеять радиоактивный изотоп еще далее и в природных условиях обеспечить в сравнительно короткий срок приведение загрязнения ных долгоживущими изотопами объемов почв к естественному уровни в радиоактивности.

Не исключено, что своей почвенной деятельностью черви не только перермещают частицы почвы с заключенными в них радиоактивными изотопами по еще и химически воздействуют на характер почвенного поглощающего комплекса, усиливают ионообменные реакции, создают основу, облегчаюющую поглощение растениями кобальта. Все это вопросы, подлежащие особому рассмотрению и исследованию, как и вопрос о роли в рассеивании

изотопа ходов, проложенных червями в почве.

Для нас здесь важен основной и бесспорный вывод о том, что в прир сутствии дождевых червей происходит усиленный вынос из почвы надземными частями растений даже такого прочно сорбируемого изотопа, как Собо Тем большие надежды можно возлагать на подобную роль червей в случаях загрязнения почвы иными, слабее сорбируемыми почвой долгоживущими

радиоактивными изотопами, в том числе стронцием, цезием и др.

Биологическая самоочистка почвы от радиоактивного изотопа кобальта приводит к заражению им смежных почвенных объемов и надпочвенных растительных ярусов. Вынос кобальта на поверхность почвы растениями в какой-то мере обеспечит и здесь процесс эрозионного и биологического рассеивания изотопа без того, чтобы все вынесенное его количество вновгосмогло тут же вернуться в почву после отмирания растений. Следовательного роль почвенной фауны, в частности показанная нами роль дождевых черя вей в биоэкологической самоочистке почвы от радиоактивного загрязнения может проявляться в разнообразных формах и служить непосредственным или промежуточным этапом в радиоэкологическом цепном процессе растесеивания изотопов.

Институт биофизики Академии наук СССР, Лаборатория биофизики Уральского филиала Академии наук СССР Поступило 14 V 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Ю. А. Поляков, Почвоведение, № 8, 57 (1956). ² А. А. Передельский Журн. общ. биол., 18, № 1, 17 (1957).

МИКРОБИОЛОГИЯ

С. Г. РЫБАКОВА

МИКРОФЛОРА ГЛУБИННЫХ НЕФТЕЙ ТРЕТИЧНОГО ВОЗРАСТА АПШЕРОНСКОГО ПОЛУОСТРОВА

(Представлено академиком В. Н. Шапошниковым 9 V 1957)

Довольно многочисленные литературные данные свидетельствуют о большой заселенности и качественном разнообразии микрофлоры нефтей и пластовых вод различных месторождений (2-6, 9-12, 14-16). Сведения же о характере вертикального распространения микроорганизмов в продуктивных толщах в зависимости от глубины залегания пластов в известной нам литературе отсутствуют. Поэтому целью настоящих исследований является установление границ вертикального распространения жизнедеятельных микроорганизмов в нефтеносных пластах. Это существенно, в частности, потому, что до последнего времени в печати высказываются сомнения в возможности пребывания микроорганизмов в недрах нефтяных месторождений (1, 13). Нами изучались нефти третичного возраста, взятые из наиболее глубоких эксплуатирующихся скважин (3538—4228 м) на Апшеронском полуострове. Часть образцов изучалась повторно через определенные промежутки времени (от 4 мес. до 2 лет).

Основное внимание было обращено на образцы нефтей из фонтанирующих, глубиннонапосных и работающих на газлифте скважин, ввиду того что эти нефти представляют наиболее ценный с точки зрения микробиологии материал — как свободный от заражения микроорганизмами извне. Образцы отбирались с соблюдением всех правил асептики: предварительно спускалось некоторое количество нефти для очистки труб от возможного загрязнения; краны и выводные трубы тщательно протирались стерильной ватой, смоченной 96° спиртом; нефть наливалась в стерильные склянки.

Всего было исследовано 27 образцов практически безводных нефтей и нефтей с примесью пластовых вод. Для выявления микроорганизмов различных физиологических групп (денитрификаторов, десульфуризаторов, нитрификаторов, сбраживающих целлюлозу, белки и глюкозу) производился посев микрофлоры на соответствующие элективные среды. При этом для посева брались по возможности большие количества инокулюма (до 20 мл).

Сапрофитные формы определялись непосредственно после отбора образцов путем посева в чашки Петри на мясо-пептонный агар (МПА) 1 мл нефти с пластовой водой. Присутствие анаэробных сапрофитных форм устанавливалось путем посева на МПА в трубки по методу Виньяль-Вейлона.

Все посевы производились в 3—6-кратных повторностях. Культивировались они в термостате при 35—37°. Наблюдения за посевами продолжались от 3 до 5 мес. Таким образом, многократная повторность посевов, большие объемы инокулюма и длительность наблюдений позволяли нам с уверенностью говорить об отсутствии в нефтях тех или иных групп бактерий.

В табл. 1 показаны результаты микробиологического изучения глубинных третичных нефтей Сураханского месторождения, а также зависимость распрестранения микроорганизмов от наличия в скважинах пластовых вод.

В исследованных образцах третичных нефтей наиболее распространенными физиологическими группами бактерий, могущими вызывать превращения различных органических веществ, являются аммонифицирующие,

Таблица 1

Микрофлора глубинных третичных нефтей и сопровождающих их пластовых вод Сураханского месторождения (Апшеронский полусстров)

	броже-	целлю- лозы (анаэ- роб)		1 -	+		Marchan			1			1		***************************************	1		1.	1				[1	,
с средах	броже-	ние глюко- зы		-	+ -	+	1	ļ	1 1	1	-	1			1	-		[İ	-	+-			+	-	-
зличных	нитри	фика-			H	. *	*	#	*	*	~ ^	:	H	*	l	н. В.	^		H. B.	æ		'	H. B.	=	-	
сы на ра	денитрифика-	230T			-	-	1	1	-	1				1			1					-	-	+	.	7
е процес	1	азоти - тая кисло- та				***************************************	1]]	1	-		1	-	Ì]	+	***************************************		1	†	-			1	-	To Sance 1
Физиологические процессы на различных	редукция суль- фатов на средс Ван-Дельдсна	с фос- форно- кислым аммо- нием		+	-	1	1	1		1 1		-	!	1	1	1	1			+	-		-	+	1	-11
Физиоле	редукци фатов и Ван-Де	с пеп-		+	-	1		[1	1		İ		ĺ	1	+		ļ		+	+(c.n.)	-	+ 1	+	-	- 5
	броже-	ние	1	+	- +	.	1 1		-	+	1	1	,	1		1				-	-	4	H 1	+	Sections	- 5
-dH:	леках Ви М вн вн	(qr a rooq onйəd-drr		+	н. В.	*		н. В.		H. B.	1	1	н. В.	-		+			+		+	- +	-	+	1	- 4
LOK	тер. клет АПМ а	Число бак на 1 мл на		10000	30	1		dendendal	1			1		1	VIII III III III III III III III III II	-		[19		210		13		4 KON
й дебит		воды, %		99,4		₩,	10 20 30	2,2	1,6	2	1,7	1,3	2	∞, °	7,0	77 -	± C	0,0	3,4	16,8	. 4.8			19	0	0 48
Суточный дебит		нефти, т	30 (эм.)	1,5	н. д.	06	43	86,3	71,6	402 A.	91	51,7	98,6	94,1	1 0	0,00 0,00	0000	75	42	69,3	9,68	6.2 (am.)	(.Me) 8	27,7	56,9	40 a
	S C C C C C C C C C C C C C C C C C C C	нефти		Н	pand			 }	= - = -	- II	E			===)-mail	П	H			II			- Halle Marie A
	Удельный	вес нефти	0,8287	0,8640	0,8739	н. д.	0,7717	0,8585	0,8609	н. д.	*	~	0,8728	0,8702	- L	0,8731	н. д.	*	0,8766	н. д.	0,8727	н. д.	0,8702	н. д.	0,7598	THE PERSONAL
	Глубина	фильтров, м		3552—3556	3573—3575			3593—3602	3627_3633				3635—3637		0,00 1,00	3044—3040	•	3694-3698			3722-3725	3725-3730		1	3805-3807	1 8667 7667 1 8667 7668
-	№ CKBA-	жины	1701	1522	1700			1518	1501	1			1505		1 KO7	1001		1517			1588	1503			_	1310 I
	Горизонт		IIa	IIa	$II_{\rm c}$			IIa+p+c	11 8	1			$II_{\rm c}$			-11		IIc				IIIa			1117	- H-
	N.	13. 13.	~	2	m ·	4 r	9 9		» о	10	11	175	13	4 5	200	10	18	19	20	21	22	23	24	22	97	- 12 Co

сульфатредуцирующие, денитрифицирующие, сбраживающие глюкозу и знаэробные сапрофитные формы бактерий. В отдельных сучаях отмечалось

присутствие микроорганизмов, разлагающих клетчатку.

Повторное изучение тех же нефтей показало, что бактериальное население в нефтях из скважин, эксплуатирующихся одним и тем же способом на протяжении длительного отрезка времени, изменяется сравнительно мало. По-видимому, это связано со стабильностью режима пластов, химическим составом нефтей и соотношением нефти и воды.

Проведенное исследование свидетельствует также о неравномерности распределения микрофлоры в залежи. Поэтому для того, чтобы судить о бактериальной заселенности малообводненных нефтей следует распола-

гать несколькими образцами, взятыми из скважин разновременно.

Все образцы нефтей третичного возраста, содержащие пластовую воду, независимо от глубины нахождения фильтров, заселены обильной и разнообразной микрофлорой, которая проявляет высокую биохимическую активность. Безводные же практически нефти либо совершенно стерильны, либо микробиальная жизнь в них представлена крайне скудно. Следовательно, чистая нефть, являясь для бактерий источником углеродного питания, без водной фазы не может подвергаться воздействию микроорганизмов.

Богатство и разнообразие микробного мира стоит в тесной связи с присутствием в скважинах нефтяных вод при условии, разумеется, наличия в них других факторов, благоприятствующих развитию бактериальной жизни, — соответствующей величины рН, содержания питательных элементов и т. д. (3,4,14). В связи с изложенным, с нашей точки зрения, правильнее было бы говорить не о микрофлоре нефтей как таковых, а о микрофлоре

нефтей и пластовых вод, сопровождающих эти нефти.

По наблюдениям ряда ученых, большое значение имеет и химический состав самих нефтей и их удельный вес (2,7,8,11,14). Активная микрофлора обнаруживается в более тяжелых нефтях, легкие же нефти обсеменен**ы**

значительно слабее, либо бактерии в них отсутствуют.

Таким образом, в результате микробиологического изучения глубинных нефтей и пластовых вод третичного возраста Апшеронского полуострова на материале 27 образцов установлено распространение разнообразной и жизнедеятельной микрофлоры в нефтеносных толщах по вертикали на глубине 3538—4228 м. В нефти с пластовой водой с глубины 4228 м обнаружены энергичные возбудители бактериальных процессов денитрификации, редукции сульфатов, сбраживания глюкозы и белковых веществ. В 1 мл этой нефти содержалось в момент отбора пробы 1500 клеток сапрофитов.

Затухания бактериальной жизни с увеличением глубины залегания

пласта не отмечалось.

Нефти с такой глубины в Советском Союзе исследуются впервые

Всесоюзный научно-исследовательский геологор азведочный нефтяной институт Поступило 8 V 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ П. Ф. Андреев, Тр. ВНИГРИ, нов. сер., в. 83, 140 (1955). ² Т. Л. Гинзбург-Карагичева, Очерки микробиологии нефти, 1936. ³ З. А. Колесник, Тр. ВНИГРИ, нов. сер., в. 82, 175 (1955). ⁴ З. А. Колесник, Тр. ВНИГРИ, нов. сер., 511 (1955). ⁵ В. Т. Малышек, А. А. Малиянц, ДАН, нов. сер., 3, № 5, 221 (1935). ⁶ Э. А. Рейнфельд, Микробиологическое исследование фонтанной нефти и воды, ее сопровождающей, 1933. ⁷ В. О. Таусон, Нефт. хоз., 14, № 2, 220 (1928). ⁸ В. О. Таусон, Основные положения растительной биоэнергетики, Изд. АН СССР, 1950. ⁹ Л. Д. Штурм, Тр. Института нефти АН СССР, 1, в. 2, 97 (1950). ¹⁰ В. А. Экзерцев, Микробиология, 20, в. 4,324 (1951). ¹¹ В. А. Экзерцев, С. И. Кузнецов, Микробиология, 23, в. 1, 3 (1954). ¹² Е. Ваstin, Bull. Ат. Аss. Petr. Geol., 10, № 12, 1230 (1926). ¹³ В. Сох, Bull. Ат. Ass. Petr. Geol., 30, 561 (1946). ¹⁴ D. Кпösel, W. Schwartz, Arch. f. Mikrobiol., 20, 362 (1954). ¹⁵W. D. Rosenfeld, J. Bact., 54, № 5, 664 (1947). ⁶ С. Е. Zo-Bell, Petroleum, 13, № 5, 109, 114 (1950).

815

МИКРОБИОЛОГИЯ

ю. и. сорокин

К ВОПРОСУ О СПОСОБНОСТИ СУЛЬФАТВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ БАКТЕРИЙ ИСПОЛЬЗОВАТЬ МЕТАН ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СУЛЬФАТОВ ДО СЕРОВОДОРОДА

(Представлено академиком В. Н. Шапошниковым 9 V 1957)

В геохимической литературе высказывается предположение о том, чтст в подземных водах и породах может идти биохимический процесс восстати новления сульфатов до сероводорода за счет метана при участии бактерий, восстанавливающих сульфаты. Это предположение послужило обосноватием трактовки причин генезиса сероводорода в нефтеносных и газоносным пластах (6). Кузнецов (1) допускает, что процесс бактериального восстановляемия сульфатов в Мацестинских и Агурских сероводородных пластовых водах может идти за счет метана. Это предположение он обосновывает расчетами Пельша (3), показавшего термодинамическую вероятность восстановления сульфатов за счет метана *. Однако Рубенчику (4) не удалосто выделить культуры сульфатвосстанавливающих бактерий, которые были бы способны использовать метан для восстановления сульфатов. Поэтому вопрос о возможности протекания этого процесса в глубинных водах и порождах остается неясным.

Мы имели ряд чистых и смешанных культур сульфатвосстанавливаю и пих бактерий, выделенных из илов, кернов и пластовых нефтеносных вод и которые активно восстанавливали сульфаты молекулярным водородом (5) Эти культуры мы испытали на способность к восстановлению сульфатого за счет метана. Ниже описывается методика и приводятся результаты эти:

опытов.

Опыты ставились в склянках емкостью 0,5 л. В склянки наливалось 100 м. минеральной среды следующего состава: K₂HPO₄ 2 г; NaH₂PO₄ 1 г l MgSO₄ 0,3 г; Na₂SO₄ 0,3 г; (NH₄)₂SO₄ 1,5 г; Na₂CO₃ 1г; соль Мора 0,2 г Na₂S · 9H₂O 0,05 г; вода водопроводная 50 мл, вода дистиллированная — г до 1 л. Соль Мора и Na₂S добавлялись в среду в виде стерильных раствороц перед ее заражением. Сульфид натрия вносился для поглощения остаткой кислорода в среде. Среда указанного состава была выбрана потому, что он: оказалась очень благоприятной для культивирования сульфатвосстанавли вающих бактерий в условиях автотрофного питания в атмосфере водорода Некоторые культуры накапливали на этой среде при восстановлении суль. фатов молекулярным водородом свыше 1000 мг $H_2 S$ на литр (5). Склянки со средой заражались внесением 5 мл культуры сульфатвосстанавливаю: щих бактерий или такого же количества водной взвеси сероводородны: илов. Затем склянки закрывались герметически резиновыми пробкамів с пропущенными через них стеклянными трубками. Через эти трубки и склянок откачивался воздух до остаточного давления 20—25 мм рт. ст. и после проверки на герметичность они заполнялись метаном до атмосфер-

^{*} Расчеты Пельша были сделаны по данным о стандартных работах реакций, которыго в настояшее время устарели. Кроме того, его расчеты относятся к веществам, взятым не в то состоянии, в котором они участвуют в бактериальном процессе. Поэтому они не могут характиризовать их энергетику.

ного давления. Откачка и заполнение проверялись два раза с тем, чтобы после удалить воздух. Склянки с посевами инкубировались при температуре около 27° в течение 120 дней. Контрольная склянка не заражалась.

За период инкубации черный озадок сернистого железа в культурах не обесцветился ни в одной из склянок. Следовательно, во всех культурах сохранились анаэробные условия, благоприягствующие развигию сульфат-

восстанавливающих бактерий.

В конце опыта во всех склянках было измерено давление с помощью ртутного манометра. При этом оказалось, что ни в одной из опытных склянок оно не было ниже, чем в контроле (незараженная склянка). Таким образом, в культурах не наблюдалось заметного потребления метана. После определения давления склянки были вскрыты, и в культурах была определена концентрация сероводорода йодометрическим методом.

Данные о восстановлении сульфатов до сероводорода с помощью газообразного водорода в культурах бактерий были получены в опытах, про-

веденных по этой же схеме.

Результаты анализов, приведенные в табл. 1, показывают, что ни в одной из испытанных культур в присутствии метана не наблюдалось сколько-

Таблица 1

Испытание культур сульфатвосстанавливающих бактерий на способность к восстановлению сульфатов за счет метана и водорода

№ куль-		Источник выделения культур Vibrio desulfuricans	С,тепень чистоты	Концснтрация Н₂S в культурах					
_	туры	источник выделения культур утытю цезапателня	культур	в атмосфере мстана,	в атмосфе- ре водоро- да, мг/л				
	180 4 9 234 280 7 190 113 94 114 8 10 201 200 84 225	Глубоководный ил из Черного моря Ил оз. Байкал Ил оз. Эльтон Сероводородная пластовая вода (Усолье Сибирское) Сероводородная минеральная вода из Горячего источника "Гаргинский" (Забайкалье) Ил оз. Холенур (Прибайкалье) Ил оз. Андреевское (Сибирь) Ил оз. Нур (Сибирь) Ил оз. Беловодь (Владимирская обл.) Ил оз. Сакское Ил оз. Сакское Нефть (2-е Баку, горизонт В2, глубина 1200 м) Нефть (2-е Баку, верейский горизонт, глубина 835 м) Керн (2-е Баку, нефтеносный горизонт) Сероводородная пластовая вода (район Иркутска) Ил оз. Беловодь	Чистая " " " " Смешан. " " " " " " " " " " " " " " " " " " "	8,2 11,4 9,3 2,8 7,0 6,3 2,7 5,6 5,1 3,3 6,6 7,2 2,4 8,1	294,3 637,0 603,3 470,5 235 1040 306 136 34 17 17 204 292,1 260 179,0				
		Ил оз. Сакского Ил оз Эльтон Керн (2-е Баку, нефтеносный горизонт)	ила То же " Измель-	9,3 12,0 1,2					
		Контроль (склянка не заражалась)	ченный керн	2,1					

нибудь существенного накопления сероводорода. В некоторых культурах концентрация сероводорода увеличилась на несколько миллиграммов посравнению с контролем. Однако этот избыток сероводорода был скорее внесен с посевным материалом, чем явился результатом редукции сульфатов за счет метана, так как несколько повышенное содержание сероводорода отмечалось именно в тех склянках, которые были засеяны самыми активными исходными культурами.

При посеве в тех же условиях, но в атмосфере водорода, а не метана, в культурах накапливалось от 200 до 1000 мг сероводорода на литр среды.

Таким образом, результаты опытов говорят против способности сульфатвосстанавливающих бактерий использовать метан в качестве окисляемого субстрата для восстановления сульфатов до сероводорода.

Этот вывод подтверждается теоретическими расчетами эффективности свободной энергии (ΔF) реакции восстановления сульфатов на основании

последних данных (2):

1) восстановление сульфата кальция до сульфида

$$CaSO_4$$
 (тв) $+ CH_4$ (г) $\rightarrow Ca^{++} + S^- + 2H^+ + CO_3^- + H_2O$ (ж) $\Delta F_{298^\circ} = +32,21$ ккал/моль

2) восстановление иона SO₄

$$SO_4^{--}+CH_4$$
 (г) \to $S^{--}+CO_3^{--}+2H^++H_2O$ (ж) Δ $F_{298}{}^{\circ}=+26{,}57\,$ ккал/моль

3) восстановление сульфата железа

$${\rm Fe^{++} + SO_4^{--} + CH_4\,(r)} \rightarrow {\rm FeS\,(TB)} + 2{\rm H^+ + CO_3^{--} + H_2O\,(ж)} \ \Delta\,{\rm F_{298^{\circ}}} = + 5,87\,$$
 ккал/моль

Таким образом, реакции восстановления сульфатов при комнатной температуре не могут идти самопроизвольно без притока внешней энергии в систему. Величины ΔF для всех этих реакций имеют положительное значение, и они не могут быть использованы бактериями как источник энергии, ибо при этом энергия не выделяется, как считали Пельш (3) и Рубенчик (4), а потребляется.

Последнее станет более очевидным, если подсчитать эффективность свободной энергии реакции восстановления иона SO_4^- молекулярным водородом, энергия которой используется сульфатвосстанавливающими бактерия-

ми для автотрофного синтеза органического вещества (5):

$${
m SO_4^{--}} + 4{
m H_2}$$
 $ightharpoonup {
m S^{--}} + 4{
m H_2O}$ $\Delta{
m F_{298^\circ}} = --29{,}42\;$ ккал/моль

Эта реакция идет с уменьшением свободной энергии (ΔF отрицательна) и может использоваться бактериями для получения энергии на нужды обиосинтеза. Реакции же восстановления сульфатов метаном сопровождаются увеличением свободной энергии (ΔF положительна) и, по-видимому, ме могут служить для этой цели. Иными словами, в сопряжении с реакция- ми восстановления сульфатов метаном нельзя привести какой-либо процесс, ΔF которого была бы положительна. Поскольку величина ΔF процессов биосинтеза в живой клетке в целом имеет положительное значение, жизнь бактерий за счет энергии окисления метана связанным кислородом сульфатов термодинамически невозможна.

Институт биологии водохранилищ Академии наук СССР Поступило 8 V 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ С. И. К узнецов, Микробислогия, 7, 317 (1928). ² М. Х. Карапетьянц, Химическая термодинамика, 1953. ³ А. Д. Пельш, Тр. Солян. лаб. Всесоюзн. инст. галургии, в. 14, 5 (1937). ⁴ Л. И. Рубенчик, Сульфатредуцирующие бактерии, Изд. АН СССР, 1947. ⁵ Ю. И. Сорокин, Тр. Инст. микробиол., АН СССР, 3 (1954). ⁶ В. А. Соколов, Миграции газа и нефти, Изд. АН СССР, 1956.

БОТАНИКА

н. н. полунина

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ ЭМБРИОЛОГИИ И БИОЛОГИИ ЦВЕТЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ЕВКАЛИПТА

(Представлено академиком Н. В. Цициным 25 II 1957)

Несмотря на широкое распространение и большое хозяйственное значение представителей рода Eucalyptus L'Hérit., эмбриологические данные по этому роду почти отсутствуют. Маколей и Круикшенк (1,2) описали мейозис при образовании материнских клеток микроспор, Маиритцон (3) дал схематическое строение семяпочки, Н. Н. Полуниной (4) изучено развитие цветка, П. А. Барановым, Е. А. Барановой и Н. Н. Полуниной (5)

отмечено интересное образование колеоризы у эвкалипта.

Данная работа проведена с целью изучения эмбриональных процессов и биологии цветения Eucalyptus L'Hérit. Исследование проводилось в 1950—1955 гг. в лаборатории физиологии развития Главного ботанического сада АН СССР под руководством П. А. Баранова и В. А. Поддубной-Арнольди. Были изучены 8 видов Eucalyptus, относящиеся к двум секциям: Е. Macarthuri Deane et Maid., E. Deanei Maid., E. cortada Labill., E. cinerea F. v. Muell., E. occidentalis Endl. (секция Parallelantherae E. v. Muell.) и Е. раисіflora Sieb., E. gigantea Hook. f., E. stellulata Sieb. (секция Renantherae Bent.).

Материал был собран на Черноморском побережье Кавказа, зафиксирован фиксатором Карнуа и обработан обычным способом. Постоянные препараты окрашивались гематоксилином Эрлиха и Гейденгайна. Материал фиксируется, окрашивается и режется плохо, из-за наличия в цветке эфирных масел, дубильных веществ, каменистых клеток и мощно развитых со-

судисто-волокнистых пучков.

Поскольку развитие и строение генеративных органов у исследованных видов очень сходно, а отличия имеются только во времени прохождения тех или иных этапов, в величине ядер и клеток, то описание будет произ-

водиться в основном для Eucalyptus cinerea.

Многочисленные семяпочки анатропные, крассинуцеллятные, с двумя двуслойными интегументами. Последние образуют узкое, почти незаметное микропиле. В верхней части завязи закладываются недоразвитые семяпочки. Как правило, образуется одна археспориальная клетка, но иногда их закладывается две, и тогда развиваются два зародышевых мешка в одной семяпочке.

Макроспоры, обычно в числе четырех, располагаются линейно. Иногда верхняя клетка диады не делится и тогда образуются лишь три макроспоры. Нижняя макроспора дает начало зародышевому мешку, который развивается по нормальному типу. Антиподы очень быстро отмирают. По-

лярные ядра долго не сливаются.

Яйцеклетка с небольшим округлым ядром, окруженным незначительным количеством цитоплазмы. Две синергиды слегка вытянутой формы, крупные; вакуоли их расположены, как и у яйцеклетки (рис. 1,а). Пыльца двух-клеточная, образующаяся по одновременному типу. Тапетум секреторный. В табл. 1 даны фенологические наблюдения цветка Eucalyptus cinerea.

Эвкалипты характеризуются длительным созреванием бутонов, и если этот период продолжается более года, то, как правило, семяпочки зимой и находятся на 2—4 ядерной стадии развития зародышевого мешка. Однако у Е. Macarthuri и Е. раисіflora семяпочки в зимний период уже имеют дифференцированный зародышевый мешок.

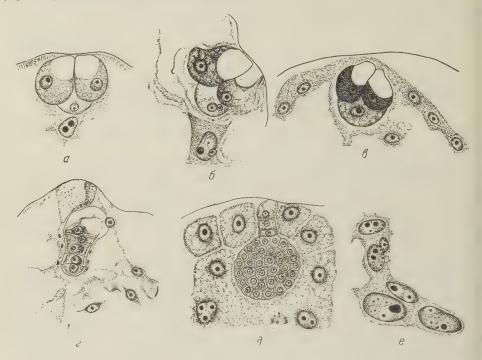


Рис. 1. Яйцевой аппарат и полярные ядра E. cinerea (a); двойное оплодотворение у E. cinerea на 30 день после опыления (б); зигота, отмирающие синергиды, ядра эндосперма E. Macarthuri на 15—20 день после опыления (в); пятиклеточный проэмбрио E. cinerea через 4 месяца после цветения (г); шарообразный зародыш и клеточный эндосперм E. Macarthuri на 30 день после опыления (д); ядра эндосперма, расположенные в халазальной части зародышевого мешка (е). 820 ×

Искусственное опыление было проведено у Е. Macarthuri в июне 1951 г., а у Е. cinerea в ноябре—декабре того же года.

При внедрении пыльцевой трубки в зародышевый мешок иногда разру \mathfrak{q} шается одна из синергид (рис. 1, δ), но чаще обе синергиды сохраняются

в течение некоторого времени (рис. 1,в).

Тройное слияние и образование эндосперма происходит скорее, чем слияние спермия с яйцеклеткой. Зигота образуется после того, как в плазме зародышевого мешка будет свыше 30 ядер эндосперма. Ядра эндосперма особенно в халазальной части, начинают сливаться, образуя большие ядра с несколькими ядрышками (рис. 1, е). Ядерные слияния в эндосперме покры посеменных наблюдались неоднократно, что несомненно влияет на повыя шение физиологической активности, как это было установлено Н. В. Цинтер (6) при изучении эндосперма Iris.

Все этапы генеративного развития у летне-цветущего вида происходять значительно быстрее по сравнению с зимне-цветущим. Так, у Е. Масага thuri пыльцевые трубки входят в зародышевый мешок на 8—10-й день, а у Е. сіпегеа только на 25—30-й день после опыления. Шарообразный зародыш у первого вида развивается через 30 дней (рис. 1,д), а у Е. сіпегеа только через четыре месяца образуется пятиклеточный предзародыш (рис. 1,г). С наступлением теплых дней развитие идет быстрее и в мае у Е. сепегеа спустя пять месяцев после цветения, находятся уже большие расчлененных

зародыши, а через 6—12 месяцев вполне развитые семена со скатанным зародышем белого цвета, расчлененными семядолями, почечкой, гипокотилем, корнем и колеоризой (5). Эндосперма нет, а запасные питательные вещества

в виде масла и алейрона находятся в самом зародыше.

Несмотря на большое количество семяпочек в завязи эвкалипта, в плоде тобразуется мало фертильных семян (2—5 у Е. cinerea). Некоторая часть семяпочек в верхней части завязи стерильна, зародышевый мешок в них не развивается. Большинство семяпочек к периоду цветения имеют нормально развитый яйцевой аппарат и полярные ядра, однако оплодотворение и раз-

Таблица 1

Фенология цветка F. cinerea

Состояние семяпочки и пыльника	Даты	Про- дол- жит. дней
Заложение бугорков семяпочек Появление интегументов семяпочек Заложение археспориальной клетки Подготовка к редукционному делению Образование тетрады макроспор Одноядерный зародышевый мешок Двуядерный зародышевый мешок Четырехъядерный зародышевый мешок Восьмиядерный зародышевый мешок Дифференциация зародышевого мешка Готовый (морфологически) зародышевый мешок Появление бугорков тычинок Дифференциация на пыльник и тычиночную нить Археспорий Подготовка к редукционному делению Тетрада микроспор Микроспоры Лвуклеточная пыльца Цветение отдельного дерева	17—20 VI 20—26 VI 17—20 VI 20 VI—3 VII 3—7 VII 7—16 VII 17—28 VIII 15—17 VIII 16 IX 5 VI 5—14 VI 5—14 VI 14—26 VI 26 VI—7 VII 7 VII—8 IX 16 IX—7 VII 7 VII—8 IX 16 IX—20 XII	3 6 3 13 4 9 11 17 2 1 1 30—90 9 12 11 60 30 60

витие зародыша и эндосперма происходит только в некоторых из них, а

остальные семяпочки отмирают.

Эмбриологическое исследование древнего рода Eucalyptus L'Hérit. (ископаемые остатки которого найдены в верхнемеловых и третичных отложениях) на примере некоторых видов, относящихся к разным секциям, показывает большое сходство эмбриологических признаков и их примитивность, что свидетельствует, по-видимому, о естественности этого большого рода и о его древнем происхождении.

Главный ботанический сад Академии наук СССР Поступило 25 II 1957

ШИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ A. L. McAulay, F. D. Cruickhank, Nature, 138, 550 (1926). A. L. McAulay, F. D. Cruickhank, Proc. Roy. Soc. Tasmania, 41 (1937). ³ J. Mauritzon, Lunds Univ. Arsskr. N. F. Avd. 2, 35, № 2 (1939). ⁴ H. А. Полунина, Бюлл. ГБС АН СССР, в. 16 (1953). ⁵ П. А. Баранов, Е. А. Баранова, Н. Н. Полунина, Бот. журн., 40, № 1 (1955). ⁶ Н. В. Цингер, ДАН, 99, № 3 (1954).

ФИЗИОЛОГИЯ РАСТЕНИЙ

Б. Е. КРАВЦОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ РОЛИ ЛИСТЬЕВ ОТДЕЛЬНЫХ ЯРУСОВ В ФОРМИРОВАНИИ ОРГАНОВ ПЛОДОНОШЕНИЯ У ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

(Представлено академиком А. Л. Курсановым 29 IV 1957)

В настоящее время работами ряда авторов для хлебных злаков установлена наибольшая значимость двух верхних листьев в снабжении колоса

ассимилятами во время налива зерна (8,2,5,1).

Очень малочисленны работы, пытающиеся осветить роль отдельных ярусов листьев для создания урожая в разные периоды развития растений. Одними авторами (4) основная роль в обеспечении крупности колоса и числаю колосков в нем отводится четырем верхним листьям. Другие (7) считают, я что вегетативные и генеративные органы формируются за счет работы нижних листьев.

В задачу настоящей работы входило изучение направления оттока ассимимлятов из листьев разных ярусов на протяжении вегетационного периода.

Объектом исследования избран сорт мягкой яровой пшеницы Лютесценс-62. Опыт проводился в полевых условиях, при разреженном стоянии растений (густота посева в рядках — 10 зерен на 1 погонный метр, ширина междурядий 20 см).

Для разрешения поставленных задач нами использована методика меченых атомов. В разные периоды развития растений производилось 20-минут-иное экспонирование листьев отдельных ярусов (кроме первого) в атмосферения применения в старования в применения в старования в с

углекислоты, меченной радиоактивным изотопом углерода С14.

Выдерживание листьев в атмосфере $C^{14}O_2$ производилось в замкнутых камерах из плексиглаза. Углекислота, образуемая в камере, составляла в

1% по объему, а 0,1% ее содержал радиоактивный углерод C^{14} .

Поглощение углекислоты листом происходит, в основном, в результатев процесса фотосинтеза. При допущении, что радиоактивный изотоп углерода поглощается листом и распределяется по растению так же, как и С¹², можно по распределению радиоактивности в растении судить о направлении оттока продуктов ассимиляции.

В наших опытах исследовалось распределение ассимилятов через суткиз после «кормления» листьев меченой углекислотой. Регистрация распределения по растению продуктов фотосинтеза, несущих радиоактивную метку, производилась путем получения радиоавтографов растений. Предваритель-

но растения фиксировались под горячим прессом.

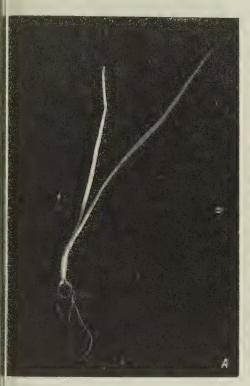
Полученная в результате проведения опыта серия радиоавтографово показывает, что на ранних этапах развития листья всех ярусов принимаюти активное участие в снабжении продуктами ассимиляции молодых, растутщих органов растения (главным образом листьев). Так, в фазе четырех листьев, ассимилируемый листьями 2-го и 3-го ярусов меченый углерод передвигается в растущий лист 4-го яруса (рис. 1 А). При «кормлении» углекислотой, содержащей радиоактивную метку, листа 4-го яруса, 82

продукты ассимиляции в течение суток остаются на месте, в растущем

листе и в другие органы не передвигаются (рис. 2Б).

Та же картина наблюдается в фазе пяти листьев (8 VI), где в снабжении нассимилятами верхнего листа принимают участие все нижележащие листья, за 5-й лист потребляет созданные им продукты ассимиляции на собственный крост.

Почернение пленки в месте нахождения зачаточного колоса во всех вариантах опыта позволяет предположить, что в этот период листья всех



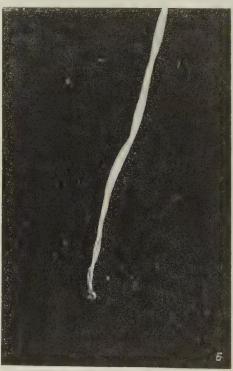


Рис. 1. Радиоавтографы яровой пшеницы Лютесценс-62 после экспонирования листа 2-го (A) и 4-го (Б) ярусов в атмосфере $C^{14}O_2$. Опыт 5 VI, фаза четырех листьев

ярусов принимают активное участие в процессе снабжения зачаточного

колоса органическими веществами.

С появлением побегов кущения наблюдается передвижение части ассимилятов, образующихся в листьях основного побега, в растущие листья боковых побегов. Лишь после полного сформирования вторичных побегов происходит их переход на самостоятельное питание. Поскольку боковые побеги являются, как правило, у яровой пшеницы малоурожайными, эти факты свидетельствуют об отрицательной роли этих побегов у яровых пшениц.

По мере дальнейшего развития растений все отчетливее проявляется дифференциация ярусов листьев в отношении снабжения продуктами ассимиляции растущих органов. Так, на 11 VI отмечено, что нижние листья (2-й и 3-й) снабжают продуктами ассимиляции растущие органы значительно слабее, чем вышерасположенные листья. Очень активен в этот период 4-й лист — он снабжает ассимилятами преимущественно молодые листья 5-го и 6-го ярусов, а также зачаточный колос. Наибольшей активностью обладает молодой лист 5-го яруса, снабжающий органическими веществами не только растущие, но частично и окончившие рост вегетативные органы.

В период наличия на растении шести листьев (14 VI) различия в работе листьев разных ярусов становятся еще отчетливее. Продукты ассимиля-и ции, образовавшиеся во 2-м листе, в течение суток не поступают в другие и надземные органы, и лишь очень слабый отток идет в корни; 3-й лист за это время отдает небольшую часть ассимилятов на формирование колоса и молодых листьев верхних ярусов; 4-й лист активнее нижележащих. Про-

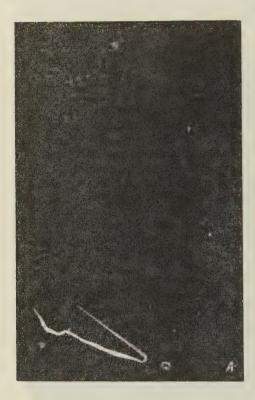




Рис. 2. Радиоавтографы яровой пшеницы Лютесценс-62 после экспонирования листа 3-гс (A) и 6-го (B) ярусов в атмосфере $C^{14}O_2$. Опыт 23 VI. Начало фазы колошения

дукты ассимиляции, образовавшиеся в нем, передвигаются не только и верхние листья основного побега, но и в листья боковых побегов. Наиболестактивны в этот период времени листья 5-го и 6-го ярусов.

Ко времени сформирования всех листьев на растении (18 VI не только 2-й и 3-й, но и 4-й лист почти не участвуют в снабжении ассимилятами над

земных органов.

При «кормлении» $C^{14}O_1$ листьев верхних ярусов радиоактивный угле род сосредоточивается в зачаточном колосе, в узлах соломины и в корне вой системе. В листья нижних ярусов передвижение ассимилятов не про исходит.

В начале колошения (23 VI) наблюдается некоторая активизация отток: продуктов ассимиляции в органы плодоношения и из нижних листьев Однако основными поставщиками огранических веществ в колос и стебел:

остаются листья верхних ярусов (начиная с 5-го) (рис. 2A и B).

Наконец, во время формирования зерновок (6 и 16 VII) отток ассими лятов идет преимущественно в репродуктивные органы. К этому времени листья нижних ярусов, даже будучи зелеными, полностью утрачиваю способность к снабжению ассимилятами репродуктивных органов. Чем вышярус листа, тем активнее его участие в процессе налива зерна.

Известно, что по отношению к ряду физиологических свойств происхо дит дифференциация ярусов листьев по мере развития растений $(^3, ^6, ^1)$

причем доминирующая роль в фазу колошения переходит от средних яругов к верхним. Несомненно, что имеется прямая связь между активностью процессов, происходящих в листе, и способностью листа к снабжению ассицилятами репродуктивных органов.

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Поступило 26 X 1956

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ Л. Г. Добрунов, Физиологические изменения в онгогенезе растения, Алма-Ата, 1956. ² Г. В. Заблуда, М. И. Простева, ДАН, 57, № 7 (1947). ³ В. М. Катунский, Изв. АН СССР, сер. биэл., № 1 (1939). ⁴ А. А. Корнилов, ДАН, 79, № 6 (1951). ⁵ В. А. Кумаков, Тр. Грэдненск. с.-х. инст., № 1 (1954). ⁶ А. Л. Курсанов, К. А. Брюшкова, Биохимия, 5, в. 2 (1940). ⁷ Б. А. Чижов, ДАН, 52, № 4 (1946). ⁸ З. М. Эйдельман, Тр. по защите растений, сер. III, в. 3 (1933).

МОРФОЛОГИЯ

В. Н. МАЙОРОВ

О ПРИЖИЗНЕННОМ НАБЛЮДЕНИИ МЕЖНЕЙРОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ И РЕЦЕПТОРОВ В МОЧЕВОМ ПУЗЫРЕ ТРАВЯНОЙ ЛЯГУШКИ (RANA TEMPORARIA)

(Представлено академиком К. М. Быковым 16 V 1957)

О микроморфологии и в особенности микрофизиологии рецепторов и перицеллюлярных аппаратов в настоящее время мы знаем еще очень мало. Это обстоятельство в значительной мере объясняется тем фактом,



Рис. 1. Живой синап мочевого пузыря лягушки через 20 мин. после введения в кровь 0.25% раствора метиленовой сини. Об. 90 (водная имм.), ок. $10 \times$

что сам объект исследования— живой рецептор и перицеллю ляр — для экспериментатора (все равно—гистолога или физиолога) остается пока недоступным.

Для выявления рецепторов, и синапсов in vivo пользовались живым гистологическим препаратом, изготовленным из мочевого пузыря травяной лягушки. Подготовка та кого препарата сводилась в основном к удалению крыла правой подвздошной кости и встав лению узкого прямого предмет. ного стекла в полость мочевого пузыря через небольшой надрес: верхушки его левой лопасти г Кровообращение и нервные связи с центральной нервной систе ч мой в таком препарате сохраня лись полностью. Живые рецепто ры и синапсы микроскопировались в проходящем свете пры разных увеличениях. Всего та ких живых гистологических пре паратов было изготовлено около 200.

Живые синапсы: Вскоре после введения и кровь 0,25% раствора метиле новой сини (0,132 мг метиленовой сини на 1 г веса лягушки) на

чинают окрашиваться сначала (на 3—4 минуте) спиральное волокно и синаптические бляшки, а потом (на 6—8 минуте) и тонкие нервные нити и Но наиболее полное выявление синапса наступает лишь на 15—20 минуте один из таких окрашенных живых синапсов представлен на рис. 1. Из неговидно, как к нейрону от нервного пучка подходит спиральное волокнов 826

которое у основания прямого отростка последовательно и дихотомически делится на несколько тонких ветвей. Последние делают вокруг данного полюса нейрона круговые обороты и образуют ту часть синапса, которую мы, вместе с А. Е. Смирновым, будем называть зернисто-волокнистой массой. Чем сильнее развита эта часть синапса, тем лучше она видна на нашем препарате, даже на неокрашенном; правда, в последнем случае структу-

зернисто-волокнистой массы видна недостаточно четко. Ветви спирального волокна, образуя сначала зернисто-волокнистую массу, переходят затем, как это видно из рис. 1, в концевое нервное сплетение $(1^{-3}, 5^{-8}).$ Сопоставление рис. 1 и 2 нагляднее всего демонстрирует те особенности строения, которые присущи живому синапсу. В противоположность фиксированному синапсу (рис. 2) тонкие нервные нити концевого сплетения живого перицеллюлярного аппарата (рис. 1) идут очень плавно и по всему своему ходу плотно прилегают к поверхности нейрона. Его варикозности имеют лишь овальную или кругловатую форму и сильно варьируют по своим размерам. Через 45-50 мин. живой окрашенный синапс начинает обесцвечиваться. Полностью обесцвеченные его бляшки приобретают новое свойство: они сильно прелом-

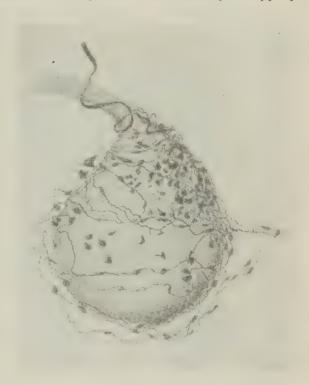


Рис. 2. Фиксированный синапс мочевого пузыря лягушки. Об. 90 (водная имм.), ок. $15 \times$. Нервные нити концевого сплетения синапса идут зигзагообразно и местами отходят от поверхности нейрона, бляшки сморщены и имеют угловатую форму

ляют свет. Такие бляшки, как бы разбросанные по всей поверхности нейрона, нам приходилось наблюдать иногда по нескольку часов.

Живые рецепторы располагаются во всех отделах мочевого пузыря, но особенно много их в районе ганглиев, на дорсальной стенке. Они образуются за счет толстых мякотных волокон, идущих в составе нервных пучков основного сплетения (рис. 3). На нашем живом препарате эти волокна четко видны без всякой окраски как в составе пучка, так и после выхода из него, вплоть до того места, где теряется миэлиновая оболочка.

Рецепторные волокна после выхода из нервного пучка дихотомически делятся на более тонкие мякотные ветви, которые вскоре проникают под мышечные балки, в подслизистый слой пузыря. Там они теряют миэлиновую оболочку и, дихотомически делясь, образуют округлые густые терминальные разветвления. Их тонкие концевые веточки заканчиваются бляшками, которые по форме и величине чрезвычайно разнообразны (рис. 3). Терминальные разветвления in vivo видны лишь на окрашенных метиленовой синью (0,25%) препаратах. Окрашивание этих разветвлений, как и всего рецептора в целом, наступает через 3—4 мин. после введения красителя в кровь. Такие рецепторы впервые в мочевом пузыре лягушки были описаны

на переживающих препаратах Эрлихом (⁸) и на фиксированных препаратах

А. В. Немиловым (⁴).

Обесцвечивание рецептора, по сравнению с синапсом, наступает гораздс быстрее — через 25—30 мин. после введения сини. Оно начинается с самых нежных его концевых частей.

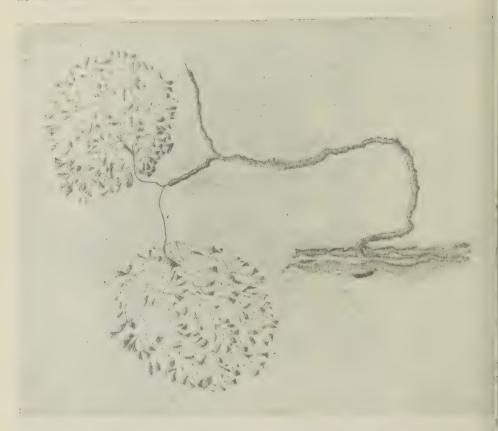


Рис. 3. Живой рецептор мочевого пузыря лягушки через 10-15 мин. после введения в крові 0.25% раствора метиленовой сини. Об. 40, ок. $10 \times$

Следует отметить, что терминальная часть рецептора выявлялась лиши на живых препаратах. На переживающих же мочевых пузырях окрашивалась лишь мякотная (претерминальная) часть, когорая, как сказансвыше, видна и без окраски.

Институт физиологии им. И. П. Павлова Академии наук СССР Поступило 10 V 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ C. Arnstein, Anat. Anz., 2, H. 5 (1887). ² N. Grünstein, Arch. f. mikr Anat. u. Entwicklungsgesch., 55 (1900). ³ М. Т. Могила, Мед. журн. АН УССР, 10 в. 3 (1940). ⁴ А. Немилов, Тр. СПбобш. естествоиспыт., отд. зоол. и физиол., 32, в. 2 (1902). ⁵ Р. Serebrjakow, Zs. f. Zellforsch u. mikr. Anat., 9, H. 3 (1929) ⁶ П. Н. Серебряков, Тр. 4-го Всесская. съезда зослогов, анатомов и гистологов в Кие ве 6—12 мая 1930 г., Киев — Харьков, 1931. ⁷ А. Е. Смирнов, Материалы погистологии периферической нервной системы батрахий, Казань, 1891. ⁸ Р. Еhrlich Deutsch. med. Wchschr., № 4 (1886).

ФИЗИОЛОГИЯ

Б. Х. ГУРЕВИЧ

ОБ УСТАНОВКЕ ГЛАЗ НА ОСНОВЕ МЫШЕЧНОГО ЧУВСТВА И О ВОЗМОЖНОЙ РОЛИ ПРОПРИОЦЕПЦИИ В ЗРИТЕЛЬНОЙ ФИКСАЦИИ

(Представлено академиком К. М. Быковым 16 V 1957)

Вопрос о роли проприоцепции внешних мышц глаза (обозначаемой в дальнейшем для краткости — проприоцепция) имеет для общей теории зрения принципиальное значение. Известно, что еще Гельмгольц (¹), Сеченов (²) и Шеррингтон (³) — каждый со своих позиций — утверждали, что мышечное чувство, несомненно, участвует в актах зрения. Неврология глазодвигательных расстройств также заинтересована в разрешении этого вопроса (4).

В настоящее время проприоцепторы внешних мышц глаза известны $\binom{5,6}{6}$, и накапливаются данные, указывающие на значение проприоцепции для зрительного восприятия $\binom{7-10}{6}$. Однако в монографической литературе, на основе аргументов психологического толка, роль проприоцепции и

в настоящее время либо отвергается (4), либо не учитывается (11).

Критерием участия в зрительной фиксации мышечного чувства могут, по-видимому, служить поворот глаз на определенный угол без наличных оптических стимулов, а также установка и удержание зрительных осей в данном направлении при таких же условиях (8).

Опыты проводились в темноте при объективной записи конъюгирован-

ных движений глаз методом электроокулографии (12).

В начале и по ходу серин испытаний испытуемые несколько раз поворачивали глаза на определенный угол в условиях смены бинокулярно фиксируемых точек. Тон 400 гц служил при этом сигналом появления на определенный угол правее центральной точки—второй, боковой точки, на которую испытуемый переводил глаза. Спустя 2—3 сек. боковая точка гасла

и испытуемый переводил глаза обратно на центральную точку.

При собственно испытаниях боковая точка после применения тона не зажигалась, о чем испытуемый не предупреждался. Тогда испытуемый также поворачивал глаза направо; не обнаружив при этом боковой точки, он, согласно инструкции, должен был направлять глаза туда, где, по его ощущению, возникала боковая точка, и пытаться точно удерживать глаза в этом направлении. 2-3 сек. спустя испытуемый нажимом на кнопку сам включал боковую точку и фиксировал ее, затем выключал ее и переводил глаза на центральную точку. Очевидно, что если к моменту зажигания боковой точки установка глаз оказывалась неточной (рис. 1,a), то глаза в этот момент испытывали соответственный доворот; наоборот, при точной мышечной установке глаз (рис. $1, \delta-a$) зрительные оси никакого доворота не испытывали.

Следует отметить некоторые черты точной мышечной установки глаз. Глаза могут удерживаться в положении определенного поворота в орбите с не меньшей стабильностью, чем при зрительной фиксации (ср. рис. 1,6 с рис. 3). При этом длительность мышечного удерживания глаз в данном направлении может изменяться в несколько раз по ходу испытаний, а,

следовательно, затрачиваемая мышечная энергия варьирует и не являет

ся величиной постоянной для данного угла поворота.

Очевидно, положение глаз при мышечной их установке контролируется не количеством затрачиваемых при этом эфферентных импульсов а проприопепцией. Контроль этот, несомненно, осуществляется при участи центральной нервной системы по принципу обратной связи — отклонени глаз от данного положения сигнализируются проприоцепторами в центры

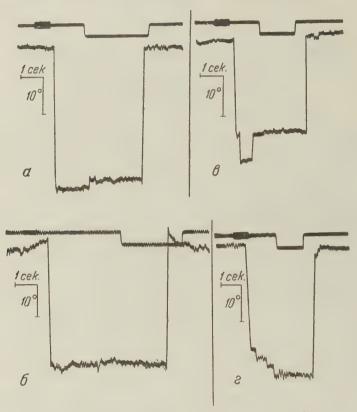


Рис. 1. Записи движения (направо) глаз при мышечной установке осей, сменяющейся после доворота (d) зрительной фиксацией точки в заданном направлении (α) . Сверху вниз: отметка звука (утолщение), отметка зажигания боковой точки (опускание), электро окулограммы: α —В. А. Х., исп. 19/5 от 19 V 1956, d=—2°, α = 35°; β —В. А. Х., исп. 18/3 от 17 V 1956, d=0°, α = 35°; θ —В. А. Х., исп. 21/3 от 22 V 1956, d=0°, α = 25°; θ =H. Б. К., исп. 3/10 от 21 V 1956, d=0°, α = 35°

что вызывает компенсаторные сдвиги в сокращениях внешних глазных мышц.

Действительно, может оказаться, что установившиеся было правильно зрительные оси испытывают случайное отклонение, которое немедленно полностью компенсируется (рис. 1, в). Наблюдаются также случаи, когда точная и стабильная мышечная установка достигается после ряда проме жуточных поворотов глаза (рис. 1, г). Оба эти ряда явлений, по-видимому невозможно объяснить без предположения о проприоцептивном контрол мышечной установки глаз.

При общем числе более 1500 записанных мышечных установок глаз у 15 испытуемых при поворотах глаз на 6,5; 12; 20; 25; 35 и 40° вправо точные мышечные установки глаз, т. е. установки с ошибкой ниже пределегочности измерений ($\pm 30'$), имели место значительно чаще, чем установки

какой-либо более значительной ошибкой. Мышечные установки распрецелялись примерно симметрично относительно искомого направления, и гначимость направления для распределения была статистически оправдана.

Мы могли заключить, что мышечное чувство несомненно участвует в

врительной фиксации.

Остается предположительно обсудить возможную роль проприоцепции з механизме зрительной фиксации. Несомненно, что при зрительной фиксации установка глаз, в зависимости от угла поворота, сопровождается прито-

ком в проприоцептивные центры импульсов пределенной частотой. Присмещениях изобракения относительно ценгра сетчатки одновременно и в комплексе CO рдвигами в оптическом оаздражении происходят также сдвиги в частоте проприоцептивных тульсов с разных мышц. Надо думать, что повторное совпадение во времени определенных оптических и проприо-

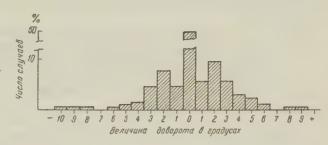


Рис. 2. Типичное распределение ошибок при N-мышечных установках в заданном направлении (α). $\alpha=25^\circ$, N=293, исп. В. А. Х., М. С. Т., С. В. У. Стандартное отклонение $\sigma=\pm2.3^\circ$; ошибка среднего $\pm0.13^\circ$; распределение не нормальное; $p{<}0.001$

цептивных стимулов, каждый раз сопровождающееся рефлекторной коррекцией положения осей, приводит к образованию временных связей между проприоцептивными и глазодвигательными центрами и определенные сдвиги в частоте проприоцептивных импульсов приобретают значение условного

стимула для компенсаторных движений глаз.

При огромной подвижности двигательного аппарата зрения не может быть сомнения, что такие легко образующиеся временные связи столь же легко подвергаются угашению или переделке. Поэтому, чтобы быть действенными, они требуют постоянного освежения и подкрепления.

Наши опыты показывают, что повторная зрительная фиксация (рис. 3, *a*, *б*), возможно, представляет собой цепной условный рефлекс. Рефлекс на-

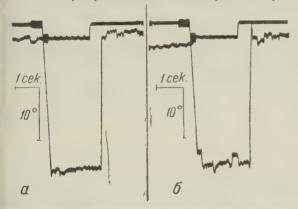


Рис. 3. Записи движения (направо) глаз при зрительной фиксации боковой точки под углом α .Отметки и порядок следования, как на рис. 1. α — В. А. Х., исп. 21/10 от 22 V 1956, α = 25°; δ — В. А. Х., исп. 21/11 от 22 V 1956, α = 25°

чинается с быстрого движения глаз в данном направлении (например, направо) в ответ на применение сигнального раздражителя, связанного с фиксацией (у нас — тона 400 гц). Одновременно действие сигнального раздражителя приводит к освежению описанных выше условных проприоцептивных связей. Это позволяет проприоцепции установить свой контроль, в результате чего глаза в своем движении направо останавливаются в таком положении, при котором изображение объекта центрировано (возможно, с некоторой неточностью). По ходу поворота возможны задержки в движении глаз (рис. 3, б), которые оцениваются и корригируются указанным механизмом проприоцептивного контроля. Рефлекс закан-

чивается собственно фиксацией, при которой происходят тонкие колебания осей. Компенсация этих колебаний, в которой в неразрывном комплексе участвуют оптические и проприоцептивные раздражители, представляет собой подкрепляющее звено рефлекса, которое еще более укрепляет соответственные условные связи проприоцептивных и глазодвигательных центров.

Предположению о проприоцептивном контроле не противоречит то, что объект во время поворота глаз проецируется на сетчатку, ибо, как хорошсизвестно, зрительное восприятие во время скачкообразной смены фиксация

отсутствует.

С биологической стороны понятно, что зрительное восприятие и зрительный контроль должны выключаться во время быстрых поворотов глазатак как в противном случае мир казался бы нам постоянно скачущим. Поэтому проприоцептивный контроль скачкообразных движений глаз присмене фиксаций является, возможно, биологически правильным решением проблемы быстрого видения.

Указанные представления согласуются с идеями Сеченова (2), а также

со взглядами Шеррингтона (3) в данном вопросе.

Роль кинестетики в зрении гораздо более значительна, чем обычно пред полагается.

Институт физиологии им. И. П. Павлова Академии наук СССР Поступило 10 V 1957

ЦИТИРОВАННАЯ [ЛИТЕРАТУРА

¹ H. v. Helmholtz, Handbuch der Physiologischen Optik, 3, Leipzig, 1910. ² И. М. Сеченов, Предметная мысль и действительность, Избр. соч., 1, Изд. АН СССР, 1952, стр. 465. ⁸ С. S. Sherring ton, Brain, 41, 332 (1918). ⁴ D. C. Cogans Neurology of the Ocular Muscles, Springfield, 1948. ⁵ S. Coopers, P. M. Daniel Brain, 72, 1 (1945). ⁶ S. Sunderland, Anat. Rec., 103, 501 (1949). ⁷ C. Ludvigh, Am. Med. Ass. Arch. Ophthalm. (Chicago), 48, 436 (1952). ⁸ В.Д. Глезер, Проблюфизиол. опт., 2, 62 (1955). ⁹ Л. И. Леушина, ДАН, 101, 849 (1955). ¹⁰ F. Morel J. J. В urgermeister, P. Dick. Monats schr. f. Psychol. Neurol., 130, 193 (1955). ¹¹ Y. Le Grand, Optique Physiologique, 3, Paris, 1956. ¹² N. Monnier, H. J. Hufschmid, Helv. Physiol. Acta, 9, 348 (1950).

ФИЗИОЛОГИЯ

Г. Н. ҚАССИЛЬ, А. М. ВЕЙН И Б. И. ҚАМЕНЕЦҚАЯ СОСТОЯНИЕ ГЕМАТО-ЭНЦЕФАЛИЧЕСКОГО БАРЬЕРА ПРИ НЕКОТОРЫХ-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ НА ОРГАНИЗМ

(Представлено академиком А. Д. Сперанским 14 V 1957)

Изучение проницаемости гемато-энцефалического барьера (ГЭБ) как в эксперименте, так и в клинике встречает ряд затруднений. Большинство общепринятых методов исследования ГЭБ страдает существенными недостатками. Как правило, они отражают не только переход испытуемого зещества из крови в спинномозговую жидкость и ткань мозга, но и сложные, не поддающиеся учету взаимоотношения внутри организма (адсорбция белжами крови, обмен нервных центров, время установления равновесия между кровью и тканевой жидкостью мозга и т. д.). Применение радиоактивных изотопов позволяет более полно и всесторонне изучать проницаемость ГЭБ, котя и этот метод не лишен некоторых недостатков.

Исследуя проницаемость ГЭБ при некоторых формах нервной патологии, мы поставили перед собой задачу не только изучить роль барьерных механизмов в возникновении и развитии патологических процессов в центральной нервной системе, но и разработать некоторые методы целенаправленного воздействия на барьер, позволяющие повышать (или понижать) проницаемость его для экспериментальных и терапевтических целей.

Была проведена серия опытов на животных, у которых исследовалось состояние ГЭБ при определенных нарушениях деятельности центральной нервной системы и при некоторых формах экспериментальной терапии.

Методика

Исследования проводились на белых крысах, весом в 100 г. Индикатором проницаемости служил радиоактивный фосфор (P^{32}), 2 μ Cu которого вводились внутрибрюшинно в 1 мл физиологического раствора. Животное дежапитировалось через различные промежутки времени (1, 3, 24, 48 час.) после введения P^{32} . Из перерезанных кровеносных сосудов бралась проба крови (0,1 мл). После обескровливания извлекался мозг и промывался слабой струей физиологического раствора. Поверхность мозга осушалась фильтровальной бумагой, мелкие кровяные сгустки и поверхностные сосуды удалялись механически.

Для исследования брались определенные участки мозга (кора, белое вещество, гипоталамическая область, ствол мозга и мозжечок). Навески по 50 мг измельчались при добавлении 1 мл физиологического раствора в гомогенизаторе. 0,4 мл гомогената наносились на мишень и высушивались в термостате. Подсчет импульсов производился на установке Б торцовым счетчиком в свинцовом домике. Радиоактивность крови высчитывалась по числу импульсов в 1 мин. на 1 мл, а ткани мозга — по числу импульсов в 1 мин. на 1 г. Активность крови принималась в каждом отдельном случае равной 100. На основе этой цифры высчитывалось

процентное содержание Р³² в ткани мозга.

В оставшейся ткани мозга определялось содержание ацетилхолина (на спинной мышце пиявки) и активность гиалуронидазы методом Мак Клина по муциновому осадку.

Результаты

Распределение P^{32} между кровью и мозгом в норме (коэффициент проницаемости). Определялост содержание P^{32} в различных отделах мозга через 1 и 3 часа после в ведения. Установлено, что через 1 час наиболее высокое содержание P^{32} обнаруживается в гипоталамической области, затем следуют в нисходящем рядуствол мозга, кора, мозжечок и белое вещество. Через 3 часа наиболее вы

Рис. 1. Содержание P^{32} в различных отделах мозга крысы (в процентах к содержанию P^{32} в крови). A — норма; B — черепно-мозговая травма; B — экспериментальная эпилепсия. I — через 1 час; II — через 3 часа. I — кора мозга, 2 — белое вещество полушарий, 3 — гипоталамическая область, 4 — мозжечок, 5 — ствол мозга

сокое содержание P^{32} констатируется и стволе мозга, затем следуют в нисходящем ряду кора мозга, гипоталамическая областы мозжечок и белое вещество (рис. 1).

Как показывают полученные нами дан ные (см. табл. 1), в мозг крысы проникае через 1 час 9,1%, а через 3 часа 15% нахов

дящегося в крови Р³².

Высокое процентное содержание в мозгу радиофосфора через 24 и 48 час. объяс няется не только высокой проницаемосты ГЭБ, но и снижением уровня P^{32} в крові (выведение из крови, адсорбция тканями и т. д.). Поэтому для характеристики ГЭГ наибольшее зачение имеют определения

проницамости через 1—3 часа.

Проницаемость ГЭБ призакрытой травме черепа бпри судорожных состояния: (экспериментальная эпилепсия). Травма черепа наносилась припомощи дозированного груза (мешочка спеском), падавшего с определенной высотна фиксированную голову животного. Кай правило, травма сопровождалась потерегознания и судорогами. Судорожное состояние вызывалось кратковременным (до сек.) пропусканием электрического токи осветительной сети через голову животного.

Установлено (рис. 2), что через 1 час со держание ${\rm P^{32}}$ в мозгу при травме череп значительно выше, чем в контрольных опыт

тах. После судорожного приступа содержание P^{32} в мозгу через 1 ча также повышается, хотя и в меньшей степени. Через 3 часа после эпи лептического припадка отмечается значительное повышение проницае мости ГЭБ.

Через 3 часа после травмы проницаемость ГЭБ также выше, чем контрольных опытах, но ниже, чем после эпилептического припадка Через 24 и 48 час. разница в накоплении P^{32} между подопытными

контрольными крысами отсутствует (см. табл. 1).

При травме наиболее высокий уровень радиофосфора обнаруживается через 1 час в гипоталамической области. Затем в нисходящем ряду следуе кора, ствол мозга, мозжечок и белое вещество. Через 3 часа наиболее высокое содержание P^{32} отмечается в стволе мозга, затем следуют в нисходящем ряду кора, гипоталамическая область, мозжечок и белое вещество.

Для экспериментальной эпилепсии наиболее характерно преимущественное накопление радиофосфора в гипоталамической области, обнаруживае

мое через 3 часа после его введения (см. рис. 1).

В дальнейшем перед нами встал вопрос о физиологических механизмах, обусловливающих повышение проницаемости ГЭБ при травме черепа. По литературным данным (1-4) при черепномозговой травме имеют место значительные изменения ацетилхолинового обмена в центральной нервной системе с выходом свободного ацетилхолина в спинномозговую жидкость. Накопление ацетилхолина в ткани мозга, сосудистых сплетепиях и в стенках сосудов может способствовать повышению проницаемости вследствие повышения активности гиалуронидазы. Как известно, большинство современных авторов относит к барьерным механизмам в центральной

нервной системе так называемое основное вещество, которое состоит из гиалуроновой и хондроитин-серной кислоты. Гиалуроновая кислота расщепляется тканевыми гиалуронидазами, что ведет к снижению вязкости основного вещества и, тем самым, к повышению произвании межклеточных

образований.

Как показывают полученные нами данные, при черепномозговой травме и при судорожных состояниях в мозгу крыс увеличивается содержание свободного ацетилхолина и нарастает

активность гиалуронидазы.

Проницаемость ГЭБ при некоторых формах экспериментальной терапии черепномозговой травмы нами применялись антихолинэргические, ганглиоблокирующие антихо-

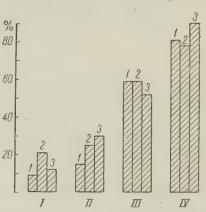


Рис. 2. Содержание P^{32} в мозге крысы при различных воздействиях на организм (в процентах к содержанию P^{32} в крови). I— через 1 часа, II — через 3 часа, III — через 24 часа, IV — через 48 час. 1 — мозг нормальной крысы, 2 — мозг травмированной крысы, 3 — мозг крысы после эпилептического припадка

линэстеразные, симпатэргические и антигистаминные препараты.

Крысам I группы после нанесения черепномозговой травмы вводился атропин (0,1 мг на 1 кг веса тела). Через 1—3 часа содержание радиофосфора в мозге подопытных животных не превышало нормы (см. табл. 1). Следовательно, проницаемость ГЭБ, повышенная при травме, пормализовалась. Одновременно в ткани мозга уменьшалось содержание свободного ацетилхолина и падала активность гиалуронидазы.

Крысам II группы после нанесения черепномозговой травмы вводился пентамин (дибромэтилатпентаметилдиэтилентриамин, аналог пендиомида)

в дозе 1 мг на 1 кг веса тела.

Этот препарат обладает, по литературным данным, выраженными ганглио-блокирующими свойствами. Он оказывает специфическое влияние на H-холинорецептивные субстанции и, в силу конкурентных взаимоотношений с ацетилхолином, прекращает передачу импульсов в ганглиях центральной и периферической нервной системы.

Как показывают данные, представленные в табл. 1, после введения травмированным крысам пентамина проницаемость ГЭБ у них приходит к норме, и содержание P^{32} в мозге через 1-3-24 часа значительно снижается. Одновременно в ткани мозга уменьшается содержание свободного

ацетилхолина и падает активность гиалуронидазы.

Крысам III группы вводился прозерин, рекомендуемый Н. И. Гращенковым при лечении закрытой травмы черепа в клинике. Как показывают наши данные, при введении эторго антихолинэстеразного препарата трав-

мированным крысам в дозе 0,05 мг на 1 кг веса уровень свободного ацетил и холина в мозге уменьшается и активность гиалуронидазы падает. Прониндаемость ГЭБ через 1—3 часа зачительно снижена и приближается к норме (см. табл. 1). Этим, вероятно, объясняется благоприятное действие прозерина в клинической практике.

По-видимому механизм действия прозерина в центральной нервной системе несколько отличен от его периферического действия, что подтверждает выявленное работами Л. С. Штерн и сотрудников (5) противоположное:

Таблица 1

Содержание ${\rm P}^{32}$ в ткани мозга при некоторых экспериментальных воздействиях на организм*

Вид воздействия	Через 1 час	Через 3 часа	Через 24 часа	Через 48 час.
Норма Черепномозговая трав-	9,1	15 25	58 64	81 78
ма ч-м тр. + атропин ч-м тр. + пентамин ч-м тр. + прозерин	7 8,6 12,75		59 48	
ч-м тр. + мезатон ч-м тр. + димедрол Эксперимент. эпилеп-	18 27,4	22,5 29,3		
сия	12	30	51	93

^{*} Уровень P³² в крови принят за 100.

влияние некоторых химических веществ на центральные и периферические образования нервной системы.

Крысам IV группы вводили мезатон (метасимпатол), вызывающий, как известно, повышение кровяного давления и понижение проница-

емости сосудов (6).

При введении мезатона травмированным крысам в дозе 0,5 мг на 1 кг веса также отмечается снижение проницаемости ГЭБ, но менее выраженное, чем при введении атропина, пентамина и прозерина (ст. табл. 1). При введении мезатона уровень свободного

ацетилхолина и активность гиалуронидазы в ткани мозга незначительно снижаются.

Антигистаминные препараты (димедрол) не оказывают заметного влияния на проницаемость ГЭБ при черепно-мозговой травме, хотя, как по-казывают данные, полученные в нашей лаборатории (И. Л. Вайсфельд), уровень гистамина в спинномозговой жидкости при клинических формах закрытой травмы черепа значительно нарастает.

Группа члена-корреспондента АН СССР Н.И.Гращенкова при Отделении биологических наук Академии наук СССР

Поступило 9 V 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ М. В. В ornstein, J. Neurophysiol., 9, 349 (1946). ² D. В. Тоwer, D. М с E achern, J. Clin. Invest., 27, 558 (1948). ³ А. А. Ward, J. Neurosurg., 7, 398 (1950). ⁴ В. Kelenter, J. Feldes, Acta Physiol. Acad. Sci. Hung., 6,4, 432 (1954). ⁵ Л. С. Штерн, Г. Н. Кассиль и др., Тр. Инст. физиол. АН СССР, 4, 1947. ⁶ И. Л. Вайсфельд, Г. Н. Кассиль, Бюлл. эксп. биол. и мед., № 9 (1957).

ФИЗИОЛОГИЯ

Л. В. ЛОБАНОВА

ДВИГАТЕЛЬНО-ОБОРОНИТЕЛЬНЫЕ УСЛОВНЫЕ РЕФЛЕКСЫ ПРИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ ВЫКЛЮЧЕНИИ ЗРЕНИЯ, ОБОНЯНИЯ, СЛУХА И ФУНКЦИИ ВЕСТИБУЛЯРНОГО АППАРАТА У СОБАК

(Представлено академиком К. Л. Быковым 13 V 1957)

В плане изучения компенсаторной функции коры головного мозга в условиях ограниченной возможности контактирования организма с внешней средой благодаря выключению периферических концов дистантных анализаторов нами были исследованы секреторно- и двигательно-пищевые условные рефлексы, а также двигательная активность собак, последовательно

лишенных зрения, слуха и обоняния $(^{3-6})$.

Было отмечено, что при выключении зрительного, а также зрительного и обонятельного анализаторов имеет место усиление безусловнорефлекторного тормозящего влияния механического раздражения желудка на величину секреторно-пищевых условных рефлексов. Торможения интероцептивных безусловных рефлексов с прямой кишки и мочевого пузыря, которое отмечал В. С. Галкин (1), при одновременном выключении дистантных рецепторов у собак мы не наблюдали. Нам также не удалось в условиях наших экспериментов после постепенного выключения зрения, обоняния и слуха обнаружить какую-либо специфику в динамике интероцентивных условных рефлексов с желудка по сравнению с рефлексами экстероцептивными. Большим препятствием на пути наших исследований при использовании секреторно-пищевой методики явилось то обстоятельство, что у всех собак после разрушения слуха на длительный срок (4—8 мес.) сокращалась, иногда вплоть до нуля, величина безусловнорефлекторного слюноотделения. Причина этого заключалась в повреждении во время операции якобсонова нерва (парасимпатического нерва, иннервирующего слюнную околоушную железу), расположенного на внутренней поверхности буллы в области среднего yxa (2).

Таким образом при работе по методике секреторно-пищевых условных рефлексов мы имели возможность наблюдать лишь сравнительно отдаленные последствия выключения слуха у собак, предварительно лишенных зрения и обоняния. Чтобы избежать этих осложнений, мы решили воспользоваться методикой двигательно-оборонительных условных рефлексов.

Настоящее исследование проводилось на двух собаках дворняжках: Цыганке — в возрасте 1 года, Норке — 5 лет. У животных были выработаны условные рефлексы на раздражение желудка, касалку положительную (+) и касалку дифференцировочную (—). Раздражители применялись впе стереотипа. Касалка (+) прикреплялась к коже левого бедра и давалась с ритмом 1 раз в 1 сек., касалка (—) прикреплялась к коже груди с левой стороны и давалась с ритмом 1 раз в 5 сек. Раздражение желудка производилось с помощью раздуваемого воздухом резинового баллончика, вставленного в желудок через фистульную трубку. Баллончик раздувался до объема 200—250 см³. Электрокожным подкреплением служил ток от индукционной катушки, питаемой 6-вольтовым аккумулятором. Применялся ток, вызы-

вавший у животного четкую двигательно-оборонительную реакцию, обычно в на 2—3 см выше порогового. Во время выработки условных рефлексов электрокожное раздражение наносилось на заднюю левую конечность собаки и выключалось, как только собака поднимала лапу. На кимографе производилась регистрация движения лапы и дыхания.

Последовательность проведенных операций у собак была следующей. У Норки первой производилась энуклеация, через 5 недель — перерезка обонятельных нервов, затем, через 6 мес. — лабиринтэктомия. У Цыганки также первой производилась энуклеация, через 2 мес. лабиринтэктомия и последней, через 9 мес., — перерезка обонятельных нервов. Собаки брались

на опыт через 4—7 дней после операции.

После выключения зрения у обеих собак сохранились неизмененными как экстероцептивные (с кожи), так и интероцептивные (с желудка) положительные условные рефлексы. За небольшим исключением, двигательный условный рефлекс на касалку, как и до энуклеации, был более интенсивен, чем

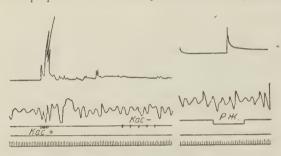


Рис. 1. Условные рефлексы у собаки Цыганки через 5 дней после энуклеации (29 IV 1953). Обозначения сверху вниз: движения задней левой лапы, дыхание, отметка условного раздражения (р. ж. — раздражение желулка, кас — касалка положительная, кас — касалка отрицательная), отметка безусловного раздражения, отметка времеи 1 раз в 1 сек.

рефлекс на раздражение желудка (рис. 1). Последний, как и в норме, не всегда проявлялся в локальной двигательной реакции, иногда он выражался лишь в общем двигательном беспокойстве животного. В течение первых 12—14 дней после энуклеации у собак наблюдалось растормаживание дифференцировочных условных рефлексов с кожи. В этот же период имело место появление многочисленных межсигнальных подъемов лапы. Позднее дифференцировочные рефлексы восстановились, «спонтанные» подъемы прекратились.

Межсигнальные подъемы возникали в различные периоды работы с собаками и до энуклеации, обычно после применения электрокожного подкрепления и продолжались в течение многих дней, а иногда и недель. В этих случаях они были сбусловлены нарушением равновесия между нервными процессами за счет усиления раздражительного процесса. Применение электрического тока повышало возбудимость коркового «оборонительного центра» После выключения зрительного анализатора имело место ослабление коркового тонуса, выражавшееся в более широкой иррадиации раздражительного процесса.

В период полного восстановления условных рефлексов после энуклеации применение условного оборонительного сигнала во время поедания собакой из кормушки мясо-сухарного порошка затормаживало на 2—3 сек. пищевую реакцию: собака отдергивала лапу и продолжала еду. До операции собаки никогда не реагировали на оборонительный сигнал во время еды.

После перерезки обонятельных нервов у слепой собаки Норки положительные экстеро- и интероцептивные условные рефлексы сохранились. В течение 6 мес. наблюдения за животным опыты с многочисленными межсигнальными реакциями чередовались с опытами, когда последние отсутствовали, и тогда отчетливо выступали силовые отношения между реакциями на касалку и раздражение желудка; дифференцировка с кожного анализатора была при этом полной.

Таким образом после энуклеации у интактных собак (Норка, Цыганка), а также после выключения обоняния у собаки (Норка), предварительно лишенной зрения, наблюдаются нарушения двигательно-оборонительных

условных рефлексов, выражающиеся в появлении многочисленных межсигнальных подъемов, растормаживании дифференцировок. Нарушения эти кратковременны, уже на 2 неделе после операции наступает нормализация.

У слепых собак нарушаются функциональные отношения между безусловным пищевым и условным электрооборонительными рефлексами с кожи (в сторону усиления значения оборонительного сигнала).

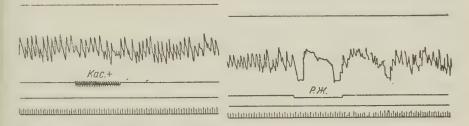


Рис. 2. Условные рерлексы у собаки Цыганки через 7 дней после лабиринтэктомии (25 VI 1953). Обозначения те же, что и на рис. 1

Выключение слухового анализатора у собаки Норки, предварительно лишенной зрения и обоняния, не вызвало каких-либо нарушений положительных условных рефлексов. Некоторое растормаживание дифференцировочного условного рефлекса на касалку наблюдалось лишь в первые 2 недели после операции. Межсигнальные подъемы лапы, как это имело место после выключения зрительного и затем обонятельного анализаторов, отсутствовали. Через месяц после операции условный рефлекс на раздражение

желудка, не подкреплявшийся уже свыше 3 мес., стал угасать. Примерно через такой же срок начинали угасать неподкрепляемые рефлексы и после выключения обонятельного анализатора.

Резкие нарушения условнорефлекторной деятельности у собаки Цыганки, предварительно лишенной зрительного анализатора, наблюдались после лабиринтэктомии. Первый период характеризовался общим снижением коркового тонуса, что выражалось в почти полном торможении как рефлекса с желудка, так и рефлекса с ко-

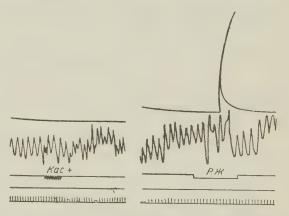


Рис. 3. Условные рефлексы у собаки Цыганки через 26 дней после лабиринтэктомии (14 VII 1953). Обозначения те же, что на рис. 1

жи. Более глубокое торможение наблюдалось в кожном анализаторе: в то время как у рефлекса с кожи затормаживались и двигательный, и дыхательный компоненты условной оборонительной реакции, у рефлекса с желудка имело место торможение только двигательного компонента (рис. 2). К концу месяца после операции, без применения специальных мер, условные рефлексы стали восстанавливаться, причем первым восстановился интероцептивный рефлекс. Соотношения между рефлексами с кожи и желудка изменились. В то время как интероцептивный условный рефлекс проявлялся почти безотказно в форме одно- или многократных подъемов лапы, рефлекс с кожи проявлялся значительно реже (рис. 3) и по интенсивности также уступал интероцептивному рефлексу. Такие отношения сохранялись в течение 3 мес. после лабиринтэктомии.

Неоднократным подкреплением положительных условных раздражителей п

мы добились полного восстановления рефлексов.

После выключения обонятельного анализатора у Цыганки (предварительно подвергшейся энуклеации и лабиринтэктомии) наблюдалось ослабляение условнорефлекторной деятельности, выражавшееся в полном или частичном торможении двигательных условных рефлексов. Через 3 недели после операции двигательно-оборонительные условные рефлексы и экстерочи интероцептивные восстановились.

Относительно причины описанного выше нарушения условных двигательно-оборонительных рефлексов у собаки Цыганки после разрушения лабиринтов (предварительно лишенной зрения) можно высказать следующие п соображения. Во-первых, нарушение силовых отношений могло произойти вследствие снижения коркового тонуса после выключения слухового анализатора. Сильный раздражитель (касалка) стал сверхмаксимальным, слабый же в этих условиях оказался оптимальным. Во-вторых, нарушение силовых отношений могло быть обязано большей стойкости к угашению интероцептивного условного рефлекса по сравнению с экстероцептивными. Такое объяснение можно допустить, тем более если принять во внимание, что условный рефлекс с желудка был образован, когда собаке было около 6 мес., а рефлекс с кожи — когда ей было уже более года. И, наконец, последнее из возможных, с нашей точки зрения, объяснений заключается в том, что после выключения зрительного и слухового анализаторов для собаки изменяется биологическое значение кожных и интероцептивных (с желудка) сигналов. В нормальных условиях существования животного г первенствующая роль в уравновешивании организма со средой принадлежит сигналам из внешней среды. В условиях же, когда ориентировка животного в среде крайне ограничена, сигналы с желудка приобретают большее г значение, чем в норме.

Институт физиологии им. И. П. Павлова Академии наук СССР

Поступило 9 V 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. С. Галкин, Арх. биол. наук, **30**, 1—2 (1933). ² В. И. Коропов, **Физиол.** журн. СССР, **27**, № 8, в. 3 (1959). ³ Л. В. Лобанова, ДАН, **96**, № 5 (1954); **97**, № 2 (1954); 108, № 2, (1956); 109, № 2 (1956).

ФИЗИОЛОГИЯ

C. H. POMAHOB

РЕАКТИВНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В НЕЙРОНАХ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ РАЗДРАЖЕНИИ ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ НЕРВОВ

(Представлено академиком К. М. Быковым 16 V 1957)

Как известно из литературы, действие на организм различных раздражителей вызывает в ткани мозга ряд изменений. Об этих изменениях можно судить, например, по биотокам головного мозга (1-4), по интенсивности метаболических процессов (5-9) и по многим другим показателям. Имеются многочисленные гистологические исследования, касающиеся изменений в клетках головного мозга при травме периферических нервов. Все эти данные указывают на связь нейронов головного мозга с периферическими нервами. Однако механизм, с помощью которого осуществляется эта связь, изучен недостаточно. Так, в частности, нет прямых доказательств того, что нервные импульсы, возникшие на периферии, достигают непосредственно тел нервных клеток коры мозга. Недостаточно изучены также следовые изменения нейронов в ранние сроки после нанесения раздражения.

Нам казалось возможным, применив метод прижизненной окраски, выяснить некоторые стороны механизма взаимодействия нейронов головного

мозга с периферическими нервами.

В данном исследовании была поставлена задача изучить изменения сорбционных свойств нейронов головного мозга при раздражении седалищного нерва электрическим током.

Исследования проведены на лягушках, мышах и крысах.

Под неглубоким наркозом животное фиксировалось к препаровальной доске, и на обеих конечностях обнажался седалищный нерв. После выхода животного из состояния наркоза обнаженные нервы раздражались индукционным током по 5 мин. каждый. Ток подавался от вторичной катушки, питаемой аккумулятором на 2 в. Сразу же или через определенные промежутки времени после прекращения раздражения животное убивалось, головной мозг извлекался и помещался в раствор красителя. Окраска и соответствующие расчеты проводились по ранее опубликованной нами методике (10-11). Контролем служил мозг другого животного, не подвергавшегося раздражению.

Рядом исследований (12-15) было установлено, что волны возбуждения вызывают отчетливо выраженные изменения сорбционных свойств протоплазмы. Исходя из этого, мы могли ожидать, что при раздражении седалищного нерва волны возбуждения, доходя до клеток головного мозга, вызовут

в них изменения сорбционных свойств.

Опыты на лягушках. Данная серия опытов проведена в зимние месяцы 1951 г. Сорбционные свойства головного мозга лягушки определялись сразу же после раздражения, через 10 и 30 мин., через 1, $1^{1}/_{2}$, 2, $2^{1}/_{2}$, 4 и 5 час. после нанесения раздражения. Всего был поставлен 121 опыт, полученные данные статистически образованы и изображены графически на рис. 1α .

Как видно из рисунка, в первые минуты после прекращения раздражения, величина сорбции красителя головным мозгом у подопытных лягушек выше, чем у контрольных, в среднем на 30%. По мере увеличения интервала времени после прекращения раздражения величина сорбции постепенно снижается, и через 1 час она доходит до уровня контроля. Через 1½ часа величина сорбции оказывается сниженной по сравнению с контролем в среднем на 12%. В дальнейшем она вновь достигает уровня контроля, на котором и остается в последующие 3 часа.

Полученные данные показывают, что при раздражении периферического нерва в нейронах головного мозга наблюдаются значительные изменения

в способности связывать краситель.

Опыты на крысах. Головной мозг крысы окрашивался сразу же после прекращения раздражения животного, затем через 30 мин., $1^{1/2}$, 2 и 3 часа после раздражения. Всего было поставлено 38 опытов.

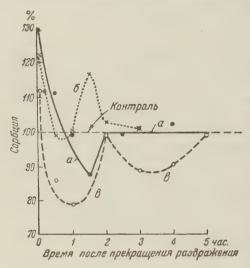


Рис. 1. Изменения величины сорбции красителя головным мозгом лягушки (а), крыс (б) и мышей (в), вызванные раздражением седалищного нерва

Полученные результаты изображены графически на рис. 1, 6, изкоторого видно, что экспериментальные данные, полученные накрысах, весьма сходны с данными, опытов на лягушках.

Головной мозг крысы, окрашен-: ный сразу после прекращения раздражения, обнаруживает повыше-п ние сорбции в среднем на 23% по сравнению с контролем. По мере «отдыха» от раздражения величина сорбции снижается и через 1 час оказывается на уровне контроля. Однако через $1^{1}/_{2}$ часа величина. сорбции вновь повышается в среднем на 18% и после вторичного подъема постепенно снижается до! уровня сорбции в контроле. Следовательно, опыты на крысах подтверждают наличие непосредственной зависимости изменения сорб-п ционных свойств головного мозга: от раздражения периферических нервов.

Опыты на мышах. Методика таже, что и в предыдущих опытах. Всего поставлено 123 опыта.

Ход кривой сорбции (рис. 1, θ) показывает, что и в этих опытах обнацируживается отчетливая зависимость величины связывания красителя головным мозгом от раздражения периферических нервов. Заслуживает внимания тот факт, что во всех сериях опытов следы от раздражения, в виде измененной сорбционной способности, сохраняются длительное время. Так, судя по величине сорбции головным мозгом лягушек, следы от 10-минутного раздражения сохраняются до $1^{1}/_{2}-2$ час., у крыс —до 2-3 час., у мышей — до 4-5 час. При этом в опытах на мышах отчетливов выступает волнообразный характер следовых изменений сорбционных свойств, его фазовый характер.

Результаты серий опытов, проведенных на разных животных, свидетельствуют о зависимости субстанциональных изменений нервных кле-п ток головного мозга от раздражения периферических нервов. Однако на основании этих данных мы еще не можем утверждать, что непосредственной причиной, вызвавшей изменения сорбционных свойств в нейронах, явля-п

ются нервные импульсы, приходящие из раздражаемого участка.

Как известно, при сильном болевом раздражении, которое мы применяли, т

в организме животного наблюдаются резкие функциональные и биохимические сдвиги (16-20), в кровь выбрасывается большое количество продуктов метаболизма. При таких условиях на нейроны головного мозга могут воздействовать самые различные гуморальные факторы и вызывать в них изменения сорбционных свойств.

Чтобы решить вопрос о непосредственной причине, вызывающей изменения сорбционных свойств в нейронах головного мозга, нами была поставлена серия опытов на мышах по следующей схеме. Раздражался нерв либо правой, либо левой конечности, после чего сорбционные свойства правого

и левого полушарий определялись раздельно.

Если сдвиг сорбционных свойств клеток головного мозга вызывается непосредственно нервными импульсами, то при одностороннем раздражении следует ожидать преимущественных изменений сорбции в одном из полушарий. Если же причиной, вызывающей изменение сорбции, являются гормональные факторы, тогда нет оснований ожидать различий в величинах сорбции между обоими полушариями.

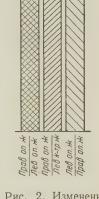
Расчеты производились следующим образом: если раздражался седалищный нерв левой конечности, то величина сорбции правого полущария относилась к таковой левого полушария $\left(\frac{\text{прав. оп. ж.}}{\text{лев. оп. ж.}}\right)$, если же раздражался нерв правой конечности, то, наоборот, величина сорбции левого полушария относилась к таковой правого полушария $\left(\frac{\text{лев. оп. ж.}}{\text{прав. оп. ж.}}\right)$.

В этих опытах, следовательно, контролем служило одно из полушарий того же самого животного (одноименное с

раздражаемой стороной).

В других же опытах для контроля бралось полушарие головного мозга другого животного, разноименное с таковым опытного животного (на одноименное с раздражаемой стороной)—животного, у которого не раздражался седалищный нерв. В этих случаях у подопытной мыши раздражался нерв л е в о й конечности, а результаты выражались отношением величины сорбции правого полушария подопытного животного к величине сорбции левого полушария контрольного животного (пр. оп. ж. лев.контр.ж.).

Всего было поставлено -79 опытов. Полученные результаты представлены на рис. 2. Как видно из рисунка, при одностороннем раздражении величина сорбции обоих полушарий оказывается различной. При раздражении седалищного нерва левой конечности повышение сорбции наблюдается в правом полушарии, и, наоборот, при раздражении правой конечности, повышенная сорбция оказывается в левом полушарии. Следовательно, увеличение сорбционных свойств наблюдается в том полушарии, которое имеет непосредственную связы с раздражаемым нервом. Однако при одностороннем раздражении сорбционные свойства меняются не только в нейронах противоположного полушария, но и в нейро-



119.7

117.4

Рис. 2. Изменения величины сорбции красителя (в %) полушариями мозга при одностороннем раздражении седалищного нерва животного (мыши)

нах одноименного полушария. Об этом свидетельствуют данные, полученные при сравнении величины сорбции правого полушария с таковой левого полушария одного и того же животного и правого полушария опытного данные да

животного с левым контрольного животного (см. рис. 2).

Величина сорбции правого полушария по отношению к сорбции левого полушария того же животного составляет 117,4%, а по отношению к сорбции левого полушария контрольного животного — 126,3%. Это означает, что нейроны левого полушария при раздражении левой же конечности оказываются также измененными, но в меньшей степени. Не отрицая в этом

случае известного влияния гуморальных факторов, следует иметь в виду, что перекрест нервных путей, идущих к полушариям, не является полным, часть волокон идет непосредственно в одноименное полушарие. Кромектого, наличие комиссуральных связей между полушариями обеспечивает возможность распространения волн возбуждения с одного полушария на другое. Таким образом, данные этой серии опытов дают основание утверождать, что изменения сорбционных свойств нейронов головного мозга приграздражении периферических нервов вызываются рефлекторно, действием приходящих волн возбуждения.

Аналогичные результаты были получены Н. И. Зайко и его сотрудниками: методом радиоактивных изотопов. Зайко показал (16), что при раздражении задней конечности животного наблюдается увеличение включения радио-активного фосфора в нервную ткань, главным образом по ходу рефлектор-

ного пути.

Институт физиологии животных им. И. П. Павлова Aкадемии наук СССР

Поступило 10 V 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ J. C. Eccles, The Neurophysiological Basis of Mind. The Principles of Neurology, Oxford, 1953. ² A. И. Рейтвак, Биоэлектрические явления в коре больших полушарий, Тбилиси,1955, стр. 240. ³ В. G. Сгадд, Nature 169, 240 (1952). ⁴ М. Н. Ливанов, В. М. Ананьев, Физиол. журн. СССР, 41, № 4,461 (1955). ⁵ Н. Мс II wain, Biochemistry and the CentralNervous System, Boston, 1955, ⁶ А. В. Палладин, Биохимия нервной системы, Киев, 1954, стр. 7—24. ⁷ Е. М. Крепс, Усп. совр. биол., 41, 3, 261 (1956). ⁸ Г. Е. Владимиров, Биохимия нервной системы, Киев, 1954, стр. 25—35. ⁹ Е. А. Владимиров, Биохимия нервной системы, Киев, 1954, стр. 47—62. ¹⁰ С. Н. Романов, ДАН, 89, № 4, 753 (1953). ¹¹ С. Н. Романов, ДАН, 90, № 1, 117 (1953). ¹² Н. В. Головина, Субстанциональные изменения нервного волокна при возбуждении, Диссертация, Инст. экспер. мед., 1949. ¹³ С. Н. Романов, ДАН, 41, № 4, 761 (1948). ¹⁴ Б. П. Ушаков, ДАН, 71, № 1, 205 (1950). ¹⁵ Г. М. Зараковский, С. В. Левин, Физиол. журн. СССР, 39, 1, 81 (1950). ¹⁶ Н. Н. Зайко, Тез. совещ. по проблемам кортико-висцеральной физиологии и патологии, Ленинград, 1953, стр. 69—70; 8 Всесоюзн. съезд физиологов, биохимиков и фармако-логов, М., 1955, стр. 242—243.

ЭМБРИОЛОГИЯ

А. С. ГИНЗБУРГ

ВРЕМЯ УСТАНОВЛЕНИЯ КОНТАКТА СПЕРМИЯ С ЯЙЦОМ ПРИ ОПЛОДОТВОРЕНИИ У ОСЕТРОВЫХ РЫВ

(Представлено академиком И. И. Шмальгаузеном 23 IV 1957)

Ранее было показано (1), что оплодотворение у осетровых рыб в норме моноспермное, но при осеменении икры мало разведенной спермой нередко наблюдается патологическая полиспермия. Чтобы понять, каким образом при нормальных условиях предотвращается проникновение в яйцо сверхчисленных спермиев, необходимо подробно изучить начальный этап процесса оплодотворения. Настоящая работа посвящена выяснению времени, протекающего от момента прибавления спермы к икре до установления контакта между спермиями и яйцами. С этой целью через разные сроки после 1) инактивировали сперму и выявляли оплодотворив-2) фиксировали яйца для цитологического исследовашиеся яйца; ния и прослеживали продвижение спермиев по микропилярным канальцам. Фиксация яиц и опыты были проведены весной 1956 г. в низовье Дона, на осетроводном пункте Аздонрыбвода в хуторе Рогожкино. Были использованы икра и сперма севрюги (Acipenser stellatus Pall.) и черноморскоазовского осетра (A. güldenstädti colchicus V. Marti), полученные с помощью гипофизарных инъекций.

Опыты с инактивации спермы. Для инактивации спермы иглокожих исследователями использовались гипотонический солевой раствор (7) и детергент лаурил-сульфонат натрия (5). Для инактивации спермы осетровых рыб Т. А. Детлаф применяла 0,1 и 0,2 N растворы хлористого натрия и в опытах на севрюге (не опубликованы) нашла, что за первые 10 сек. после осеменения оплодотворяется большая часть яиц. Недостатком использованного ею метода было то, что полная инактивация спермы достигалась не сразу: после добавления солевого раствора на протяжении 15 сек. продолжалось оплодотворение единичных яиц, так как небольшая часть спермиев еще сохраняла оплодотворяющую способность.

Чтобы найти способ быстрой и полной инактивации спермы осетровых, мы испытали действие семи различных поверхностно-активных препаратов, из которых наиболее пригодным оказался детергент «Новость» (стиральный порошок, содержащий сульфоэфиры цетилового и стеарилового спиртов). Этот детергент в концентрации 0,5% не оказывал повреждающего действия на яйца и за очень короткий срок (менее чем за 0,5 сек.) инактивировал сперму: когда к сперме, активированной водой, добавляли раствор детергента и через 0,5 или 1 сек. эту смесь приливали к икре, оплодотворения не происходило (среди 2434 просмотренных яиц не было обнаружено ни одного оплодотворенного).

Для определения времени оплодотворения яиц икру, взятую из полости тела самки, помещали в стеклянные кольца, одна сторона которых была затянута редким газом; полостную жидкость отсасывали пипеткой. Кольца с икрой погружали в свежеразведенную сперму (применялись разведения 1:9 и 1:100) и затем, через разные сроки (от 1 до 60 сек.), переносили в раствор детергента для инактивации спермы. Спустя 10 мин. икру помеща-

ли в чашки Петри и раствор детергента заменяли речной водой. Восстановления подвижности спермиев при этом не происходило. Как показали предварительные испытания, сперма, возвращенная в воду после 10-минутного пребывания в растворе детергента, не обладает оплодотворяющим действием. Контролем в наших опытах служила порция икры, в которой сперму не подвергали инактивации.

На стадии второго деления икру фиксировали и учитывали общий процент оплодотворившихся яиц, а также отдельно яиц с избыточным числом бластомеров, т. е. полиспермных (1). Всего было проведено 12 опытов (10)

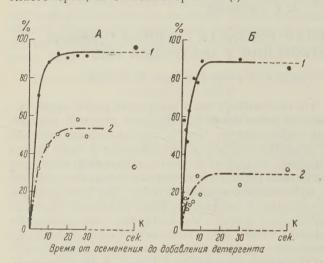


Рис. 1. Оплодотворение яиц севрюги в опытах с инактивацией спермы. A — разведение спермы 1:9, концентрация спермиев $2,06\cdot 10^8$ на 1 мл; B — разведение спермы 1:100, концентрация $5,93\cdot 10^7$ на 1 мл. 1 — оплодотворенные яйца (в % от общего числа яиц), 2 — полиспермные яйца (в % от числа оплодотворенных), K — контроль

с икрой севрюги и 2 с икрой осетра), давших сходные результаты.

Значительная часть 1 ПИК оплодотворялась уже в первые секунды. прибавления Это наблюдаспермы. лось не только в опытах со спермой высокой концентрации (рис. 1 А), но также и при большем ее разведении (рис. 1 E). Спустя 10—15 сек. после осеменения процент оплодотворения ДОСТИгал максимума (и был равен проценту оплодотворения в контроле) т. е. к этому времени п все яйца, способные к оплодотворению, оказывались оплодотворенными.

Частота случаев полиспермии также быстро увеличивалась в первые секунды после осеменения и после того, как процент оплодотворения достигал максимального значения, больше не возрастала. В опыте, представленном на рис. 1 \mathcal{B} , процент полиспермии уже через 8 сек. после осеменения был близок к проценту полиспермии в контроле.

Установленные для осетровых сроки достижения максимальных процентов оплодотворения и полиспермии того же порядка, что и приводимые Ротишильдом и М. М. Сванном для морского ежа Psammechinus miliaris (8), однако у последнего оплодотворение всех яиц происходило за несколько меньшее время (при концентрации спермиев 6,87·107 на 1 мл за 5 сек.), а наракстание полиспермии продолжалось дольше (не менее 17 сек. и, в среднем, и

на протяжении 63 сек.).

Данные цитологического исследования. Были изучены яйца из трех партий: двух партий икры севрюги, где фиксация про-изводилась через 2, 5, 10, 20 сек. и 1 мин. после осеменения (температура 22,0 и 22,6°), и одной партии икры осетра, где яйца были фиксированы спустя 1, 2, 3 мин. и более после осеменения (22,4°). Яйца фиксировали жидкостью Санфеличе, анимальную область яиц заливали в парафин и резали серийно (толщина срезов 7 µ). Срезы окрашивали железным гематоксилином или азаном по Гейденгайну, а также по Фельгену с докраской световым зеленым. На препаратах тщательно просматривали область расположения микропилярных канальцев, число которых варьирует у севрюги в пределах от 2 до 10, у осетра от 3 до 28.

Как известно (³), яйцо осетровых рыб одето тремя оболочками — двумя желточными и наружной студенистой. В области каждого микропиле (рис. 2)

студенистая оболочка дает конусовидное выпячивание, приближающееся к внутренней желточной оболочке. Вход в микропиле имеет форму воронки, которая переходит в канал, пронизывающий всю студенистую оболочку. У вершины конуса канал образует расширение, которое может быть названо ампулой. От ампулы отходит узкий концевой каналец, проходящий через внутреннюю желточную оболочку к яйцу.

После осеменения спермии за очень короткий срок проходят наружный канал микропиле и достигают ампулы. Из 49 янц севрюги, изученных на срезах, спермии были найдены в ампулах у 31 яйца. Спустя 2 сек. после добав-

ления спермы у нескольких яиц было найдено по одному спермию; в одном случае головка спермия уже входила в концевой каналец микропиле. Через 5 сек. спермии были обнаружены у половины изученных яиц; у некоторых из них спермии имелись одновременно в ампулах разных микропилярных канальцев, обычно по одному в каждой. Чем позднее были фиксированы яйца, тем чаще встречались спермии, причем начиная с 10 сек. в ампулах нередко имелось по нескольку спермиев (рис. 2). В концевой каналец проникал только один из них, так как диаметр канальца едва превышает ширину головки спермия. При самом позднем сроке фиксации яиц севрюги — через 1 мин. после осеменения — спермии имелись в ампулах у всех исследованных яиц, и в подавляющем большинстве случаев были найдены спермии, переходящие из ампулы в концевой каналец. Необходимо отметить, что спермии никогда не достигали выходного отверстия микропиле: между вершиной головки наиболее продвинувшихся спермиев и этим отверстием (на внутренней поверхности оболочек) оставалось расстояние не меньше 5—6 μ.

У осетра через 1 мин. после осеменения спермии находились также в ампулах, и лишь через

2 мин. они достигали выхода из микропиле.

дж. о. Г ж. о. Г ж. о. П дак. ф. к. г. цит. желт п. г.

Рис. 2. Разрез яйца севрюги через область микропиле спустя 10 сек. после добавления спермы (концентрация спермиев $7,65\cdot10^7$ на 1 мл). Санфеличе, азан по Гейденгайну. aмn. — ампула микропиле, вак. — вакуоли в слое отделяющихся кортикальных гранул, ex. — воронкообразный вход в микропиле, ex. — головки спермиев (хвостовой отдел не окрашен), ex. — желточные зерна, ex. ex. — наружная желточная оболочка, ex. ex. — отделяющиеся кортикальные гранулы, ex. ex. — отдевой каналец микропиле, ex. — пигментные гранулы, ex. ex. — студенистая оболочка, ex. — цитоплазматический вырост, ex. — цитоплазма яйца

Сопоставление этих данных с результатами описанных выше опытов, согласно которым оплодотворение может происходить уже в первые секунды после добавления спермы, привело к предположению, что установление контакта между спермием и цитоплазмой яйца должно осуществляться раньше, чем спермий пройдет всю длину микропилярного канала. Цитологическое исследование подтвердило это предположение — было установлено, что в концевой каналец каждого микропиле от яйца отходят тонкие выросты мелкозернистой цитоплазмы; как и кортикальный слой яйца, продолжением которого они являются, эти выросты (рис. 2, ц. в.) не содержат желточных

зерен. Головка спермия приходит в соприкосновение с цитоплазматическим выростом, когда она из ампулы переходит в концевой каналец, а это в нескольких случаях наблюдалось уже через 2—5 сек. после осеменения и значительно чаще — через 10 сек. Иногда можно было видеть в двух или трех микропиле одного яйца спермии, головки которых одновременно входят в концевые канальцы, - по-видимому, это случаи полиспермного оплодотворения.

Контакт между головкой спермия и цитоплазматическим выростом у осетровых рыб физиологически соответствует контакту спермия непосредственно с кортикальным слоем яйца у других животных. Об этом свидетельствует сопоставление данных цитологического исследования с динамикой кортикальной реакции в яйце севрюги (2): начальные изменения кортикальных гранул обнаруживаются в некоторых яйцах уже через 2 сек. после осеменения, а выделение гранул может происходить через 5—10 сек. (оно идет и в яйце, представленном на рис. 2).

Образование яйцом цитоплазматических выростов или нитей, вступающих в контакт со спермием, было описано для ряда животных, в частности для кишечнодышащего Saccoglossus Kowalevskii (4) и полихеты Pomatoceтоs triqueter (6). У этих животных спермии могут проникнуть в яйцо в любой точке его поверхности, и, соответственно, яйцо посылает вырост навстречу спермию лишь после его прикрепления к оболочке. В отличие от этого, в яйце осетровых рыб, одетом плотными оболочками с ограниченным числом микропилярных канальцев, цитоплазматические выросты формируются раньше, до откладки икры и ее осеменения.

Из всего сказанного следует, что у осетровых рыб контакт между спермием и яйцом устанавливается еще до того, как спермий пройдет через все оболочки, — головка спермия приходит в соприкосновение с цитоплазматическим выростом, отходящим от кортикального слоя яйца. Этот контакт может наступать спустя короткий срок после добавления спермы (2 сек.), и при достаточной концентрации и активности спермы все яйца могут быть

оплодотворены на протяжении 10—15 сек.

Институт морфологии животных им. А. Н. Северцова Академии наук СССР

Поступило 19 IV 1957

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. С. Гинзбург, ДАН, 114, № 2 (1957). ² Т. А. Детлаф, ДАН, 116, № 2 (1957). ³ Т. А. Детлаф, А. С. Гинзбург, Зародышевое развитие осетровых рыб в связи с вопросами их разведения, Изд. АН СССР, 1954. ⁴ L. Н. Соlwin, А. L. Соlwin, J. Morphol., 95, № 2, 351 (1954). ⁵ В. Надström, Britt Hagström, Exp. Cell. Res., 6, № 2, 479 (1954). ⁶ А. Мопгоу, Агліч Zool., 40 А, № 21, 1 (1948) ⁷. Lord Rotschild, M. M. Swann, J. exp. Biol., 28, № 3, 403 (1951). ⁸ Lord Rothschild, M. M. Swann, J. exp. Biol., 29, № 3, 469 (1952).